

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA
DIRETORIA DE ENSINO
CENTRO DE ENSINO BOMBEIRO MILITAR
ACADEMIA BOMBEIRO MILITAR**

BRUNO SOUZA DE ALBUQUERQUE

**PROPOSTA DE ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS E CONCEITOS
REFERENTES AO ESTUDO DE INCÊNDIO NA ATIVIDADE PERICIAL DO
CBMSC**

**FLORIANÓPOLIS
SETEMBRO 2015**

Bruno Souza de Albuquerque

**Proposta de Atualização dos Conhecimentos e Conceitos Referentes ao Estudo Incêndio
na Atividade Pericial do CBMSC**

Monografia apresentada como pré-requisito
para conclusão do Curso de Formação de
Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de
Santa Catarina.

Orientado: Maj BM Charles Fabiano Acordi, Me

**Florianópolis
Setembro 2015**

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na fonte

A345p

Albuquerque, Bruno Souza de

Proposta de atualização dos conhecimentos e conceitos referentes ao estudo de incêndio na atividade pericial do CBMSC . / Bruno de Souza de Albuquerque. -- Florianópolis : CEBM, 2015.
338 f. : il.

Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Centro de Ensino Bombeiro Militar, Curso de Formação de Oficiais, 2015.
Orientador: Maj BM Charles Fabiano Acordi, Me.

1. Perícia de incêndio. 2. Investigação de incêndio . 3. Material didático. 4. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. I. Acordi, Charles Fabiano. II. Título.

CDD 363.37

Bruno Souza de Albuquerque

Proposta de Atualização dos Conhecimentos e Conceitos Referentes ao Estudo Incêndio na Atividade Pericial do CBMSC

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Florianópolis (SC), 05 de Outubro de 2015.

Prof. Me Charles Fabiano Acordi
Professor Orientador

Prof. Esp. Luiz Henrique Kirch
Membro da Banca Examinadora

Prof. Esp. Vanderlei Vanderlino Vidal
Membro da Banca Examinadora

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo sempre presente apoio nas minhas escolhas; à minha esposa, pelo carinho e compreensão nesta fase tão turbulenta; a todos os professores que contribuíram com minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, pelo apoio em todas as etapas da minha vida.

À minha esposa Camila, por ter me dado forças quando eu precisava e por ter sofrido e vibrado junto comigo durante o CFO.

Ao meu orientador, por todo o conhecimento repassado, pela paciência e pelo exemplo de profissional a ser seguido.

Aos Srs. Tenente-Coronel Biluk, Tenente-Coronel Henrique e Tenente-Coronel Vanderlino pelas contribuições sem as quais este trabalho não teria sido realizado.

Aos colegas de curso, por mostrarem que mesmo nas piores horas ainda há motivos para rir.

“A natureza não é cruel, apenas implacavelmente indiferente. Essa é uma das lições mais duras que os humanos têm de aprender.”

(Richard Dawkins)

RESUMO

O presente trabalho propõe-se a verificar a existência de um material padrão para o ensino de Ciência do Fogo nos cursos de investigação de incêndio da corporação e, caso seja necessário, proceder a atualização deste material. Para obtenção dos objetivos foi verificado junto ao Sr. Major BM Charles sobre a existência do supracitado material didático. Foi obtida cópia da apostila do Curso de Formação de Inspetores de Incêndio e a informação de que não existe um material para o curso de Perícia de Incêndio e Explosão. Em entrevista com os outros peritos da corporação, Srs. BBMM Tenente-Coronel Biluk, Henrique e Vanderlino foi constatado que era opinião unânime que o material existente precisava ser atualizado. Com base em referências bibliográficas nacionais e internacionais elaborou-se uma proposta de Plano de Unidades Didáticas (PUD) considerado ideal para o curso de Perícia de Incêndio e Explosão e para o curso de Inspetores de Incêndio. Estas duas propostas foram então apresentadas aos peritos. Por fim, as mudanças sugeridas foram levadas ao orientador deste trabalho para que ele desse a palavra final sobre o que iria ser modificado na proposta original ou não. Feitas as mudanças, obteve-se as propostas finais de PUDs os cursos de investigação de incêndio no CBMSC. Ao final do trabalho, conseguiu-se verificar que, de fato, existe um material padrão para o ensino de investigação de incêndio no CBMSC, mas somente para o curso de Inspetores de Incêndio. O material, conforme dito pelos oficiais peritos, necessitava de adequações. As duas propostas de apostilas – uma para o curso de Perícia de Incêndio e Explosão e outro para o curso de Inspetores de Incêndio – foram anexadas ao trabalho nos apêndices.

Palavras-chave: Perícia de Incêndio. Investigação de Incêndio. Material Didático

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bombeiros realizam vistoria em uma edificação.....	24
Figura 2 – Bombeiros em combate.....	25
Figura 3 – Investigação de uma cena de incêndio.....	27
Figura 4 – Queima de GLP.....	31
Figura 5 – Combustível Sólido.....	32
Figura 6 – Combustível Líquido.....	33
Figura 7 – Combustível Gasoso.....	33
Figura 8 – Incêndio Classe A.....	37
Figura 9 – Incêndio Classe B.....	38
Figura 10 – Incêndio Classe C.....	38
Figura 11 – Incêndio Classe D.....	39
Figura 12 – Sódio reagindo com a água.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Necessidade de adequação do material didático de Ciência do Fogo.....	43
Quadro 2 – PUD da apostila de Inspetores de Incêndio do CBMSC.....	45
Quadro 3 - PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília.....	46
Quadro 4 - PUD NFPA 921.....	47
Quadro 5 – PUD Fire Investigation.....	48
Quadro 6 – PUD Incêndios e Explosivos.....	49
Quadro 7 – PUD Introduction to Fire Dynamics.....	50
Quadro 8 – PUD Kirk's Fire Investigation Handbook.....	52
Quadro 9 – PUD da disciplina de química do CFO.....	54
Quadro 10 – PUD da disciplina de combate a incêndio do CFSd.....	55
Quadro 11 – Proposta de PUD para o Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC.....	55
Quadro 12 – Proposta de PUD para o Curso de Inspetores de Incêndio do CBMSC.....	57
Quadro 13 – PUD final do Curso de Formação de Perícia de Incêndio do CBMSC.....	65
Quadro 14 – PUD final do Curso de Formação de Inspetores de Incêndio do CBMSC.....	67

LISTA DE SIGLAS

CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina

CBM – Corpo de Bombeiros Militar

CBMDF – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

CEBM – Centro de Ensino Bombeiro Militar

PUD – Programa de Unidades Didáticas

IGP – Instituto Geral de Perícias

SC – Santa Catarina

BM – Bombeiro Militar

BBMM – Bombeiros Militares

NFPA – National Fire Protection Agency

CBPMSC - Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Santa Catarina

CAT – Centro de Atividades Técnicas

POP – Procedimento Operacional Padrão

CmdoG – Comando Geral

PDCA – Planning, Doing, Checking, Act

IN – Instrução Normativa

DAT – Diretoria de Atividades Técnicas

SAT – Seção de Atividades Técnicas

NSCI – Normas de Segurança Contra Incêndio

IFSTA - International Fire Service Training Association

LGE – Líquido Gerador de Espuma

CFO – Curso de Formação de Oficiais

CFSd – Curso de Formação de Soldados

CIE – Combate a Incêndio Estrutural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Problema.....	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Estrutura do trabalho.....	16
2 DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1 A origem do fogo segundo fontes diversas.....	17
2.1.1 A lenda de Prometeus.....	17
2.1.2 O fogo segundo os Jê.....	18
2.1.3 A origem do fogo segundo os Suruí.....	18
2.1.4 O mito da origem do fogo segundo os Yanomami.....	18
2.2 Perícia de incêndio em Santa Catarina.....	19
2.3 Ciclo operacional do bombeiro.....	22
2.3.1 Fase normativa.....	22
2.3.2 Fase passiva.....	23
2.3.3 Fase ativa.....	25
2.3.4 Fase investigativa.....	26
<i>2.3.4.1 A importância da fase investigativa.....</i>	<i>27</i>
2.4 Fogo e Incêndio.....	29
2.5 Tetraedro do fogo.....	30
2.5.1 Combustível.....	31
2.5.2 Comburente.....	34
2.5.3 Calor.....	35
2.5.4 Reação em cadeia.....	36
2.6 Classes de incêndio.....	36
2.6.1 Incêndios Classe A.....	37
2.6.2 Incêndios Classe B.....	37
2.6.3 Incêndios Classe C.....	38
2.6.4 Incêndios Classe D.....	39

3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Classificação da pesquisa.....	40
3.2 Descrição da metodologia empregada.....	42
4 RESULTADOS.....	45
4.1 Primeiro momento: Pesquisa de PUDs na literatura existente.....	45
4.1.1 PUD Apostila de Inspectores de Incêndio CBMSC.....	45
4.1.2 PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília.....	46
4.1.3 PUD da norma NFPA 921.....	47
4.1.4 PUD do livro <i>Fire Investigation</i>	48
4.1.5 PUD do livro Incêndios e Explosivos – Uma introdução à engenharia forense.....	49
4.1.6 PUD do livro <i>Introduction to Fire Dynamics</i>	50
4.1.7 PUD do livro <i>Kirk's Fire Investigation Handbook</i>	52
4.2 Segundo momento: proposta de um PUD ideal.....	53
4.3 Terceiro momento: apresentação da proposta aos peritos da ativa da corporação.....	58
4.3.1 Entrevista do Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Vanderlino.....	59
4.3.2 Entrevista com o Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Henrique.....	61
4.3.3 Entrevista com o Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Biluk.....	64
4.4 Quarto momento: adição das contribuições dos peritos que foram aceitas como válidas pelo orientador Major Charles.....	65
5 CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE I Proposta de apostila para o Curso de Perícia de Incêndio e Explosão.....	73
APÊNDICE II Proposta de apostila para o Curso de Inspectores de Incêndio.....	227
APÊNDICE III Entrevista com o Sr. Tenente-coronel Vanderlino.....	329
APÊNDICE IV Entrevista com o Sr. Tenente-coronel Henrique.....	331
APÊNDICE V Entrevista com o Sr. Tenente-coronel Biluk.....	333

1 INTRODUÇÃO

O fogo sempre foi algo misterioso e poderoso. A história do homem poderia muito bem ser dividida entre quando o homem não sabia “fazer” fogo e quando começou a criar técnicas para “fazê-lo” e mantê-lo. Nesse sentido, explica Cardoso (2014, p.22):

Em cada momento histórico, representado na curva da evolução, o FOGO acompanhou o homem em sua marcha social, contribuindo com o seu desenvolvimento. O uso do fogo, a partir de uma fonte natural, tornou-se indispensável para a sobrevivência dos indivíduos. Era usado no aquecimento de seus abrigos; na iluminação e, deslocamentos noturnos e de seus abrigos; no cozimento de alimentos e para carbonizar as pontas das lanças e flechas, conferindo-lhes um grau maior de dureza, garantindo às armas, uma maior eficiência para abater suas caças

Apesar de todos os benefícios que o fogo trouxe ao homem, ele fatalmente descobriu que, quando aquele fugia ao controle, causava imensos danos e trazia grande perigo. Aragão (2010) relata que alguns pensadores acreditam que o primeiro trabalho científico dos seres humanos foi justamente o de melhor conhecer e dominar o fogo, muito embora ainda acreditassem que ele detinha origens místicas.

Com o advento da ciência, descobriu-se que não havia nada de sobrenatural no fogo, ele era somente o produto de uma reação química que liberava grandes quantidades de energia. A tecnologia, somada à ciência, fez possível um novo profissional: o perito. A atividade pericial tem despontado como um dos mais importantes instrumentos a que a justiça tem acesso, já que permite elucidar a autoria e a materialidade de crimes e sinistros. Dentro da perícia, atividade multifacetada que é por definição, muitas áreas são utilizadas – dentre as quais pode-se citar a física, a química, as engenharias, a biologia, a agronomia e a lógica.

A importância do estudo do incêndio é inegável. Todos os anos pessoas perdem entes queridos ou pertences em incêndios acidentais ou deliberadamente iniciados. As estatísticas relacionados aos incidentes com fogo no Brasil são escassas, mas Daéid (2004) relata que os incêndios criminosos representam algo em torno de 50% a 60% de todas as ocorrências deste tipo em algumas partes do Reino Unido. O autor continua dizendo que, apesar deste número alarmante, somente 8% dos casos do ano de 2002 foram solucionados.

Outro autor, DeHaan (2012, p. 04) traz as seguintes informações:

Internacionalmente, os incêndios continuam a ser o mais dispendioso dos problemas de segurança pública de hoje, do mesmo modo como já tem sido nas últimas décadas. As perdas de vidas humanas e ferimentos causados pelos incêndios e explosões continua a acontecer. A perda de patrimônio causada pelo fogo é muito maior do que aquela por qualquer outro crime e muito próxima das produzidas por furacões e terremotos.

As motivações de um incendiário variam. Pode ser que o fogo seja utilizado para tentar apagar evidências de um crime anterior, para ganhar dinheiro – golpes em seguradoras, por exemplo -, ou ainda produto de uma desordem psicológica conhecida como piromania. É claro que nem todos os incêndios são intencionais, podendo ocorrer em virtude de combustão espontânea de alguns materiais; de negligência no uso de velas; de problemas elétricos, entre outros .

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina tem sua atribuição de realizar perícias de incêndio prevista na própria Constituição Estadual (1989, p. 73-74), conforme se apresentado abaixo:

[...]

Art. 108 — O Corpo de Bombeiros Militar, órgão permanente, força auxiliar, reserva do Exército, organizado com base na hierarquia e disciplina, subordinado ao Governador do Estado, cabe, nos limites de sua competência, além de outras atribuições estabelecidas em lei:

[...]

IV - realizar perícias de incêndio e de áreas sinistradas no limite de sua competência;

[...]

Para isso, os bombeiros militares em formação devem ter em seu curso a base para realizar esta atividade. Dentre os conhecimentos que um investigador de incêndios deve ter estão o de estruturas, eletricidade, metodologias de investigação de cenas de sinistro e também de ciência do fogo.

Dentro deste último, é de suma importância o entendimento do comportamento do fogo, sua dinâmica e o que o influencia, entre outros. Mas para chegar a tal nível de excelência é preciso que a formação destes militares seja também de excelência, tendo toda a base que precisam para realizar as investigações rotineiras e, a partir dela, realizar pesquisas de modo a trazer cada vez mais conhecimentos à atividade pericial. O propósito deste trabalho é pesquisar se tal preocupação vem sendo exercida na formação dos investigadores de incêndio catarinenses.

1.1 Problema

O estudo da investigação de incêndio é da mais alta importância para a corporação, como bem já levantaram Kirch (2007), Vidal (2007), Acordi (2011), Sarte (2009), Junior (2012) e Júnior (2012). No entanto, para que esta atribuição constitucional do Corpo de Bombeiros Militares seja bem desempenhada, é necessário que haja uma preparação eficiente dos responsáveis por esta atividade. Neste sentido é necessário constatar se existe um material padrão para o ensino e, caso exista, verificar a necessidade de atualização ou não desta literatura, de forma que a formar investigadores de incêndio prontos a desempenharem suas atividades com excelência.

1.2 Objetivos

A seguir serão elencados os objetivos a serem alcançados por esta monografia. Contempla o Objetivo Geral do trabalho e também os específicos, que são cumpridos até o fim destes escritos.

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a existência de um material didático padrão para o ensino de ciência do fogo no bombeiro militar catarinense e, caso seja necessário, promover uma atualização dos conteúdos contemplados.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Verificar a existência de um material didático padrão para o ensino de investigação de incêndio no CBMSC e em outros Corpos de Bombeiros do país e, caso positivo, obter uma cópia desses materiais;
- b) Pesquisar, junto aos peritos da corporação, quanto a necessidade ou não de adequação do material didático, caso exista; e
- c) Propor um material de referência para o estudo da Ciência do Fogo de acordo com o que foi levantado junto aos peritos da ativa;

1.3 Justificativa

Atualmente, o Corpo de Bombeiros Militar catarinense conta apenas com quatro Oficiais Peritos: Tenente-Coronel BM Biluk, Tenente-Coronel BM Henrique, Tenente-Coronel BM Vanderlino e Major BM Charles – todos formados no Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. No entanto, estes profissionais não só estão envolvidos em diversas outras atribuições além da realização de perícias, como também aproximam-se dos trinta anos de serviço¹. Tem-se então a projeção de que em alguns anos restem apenas Inspetores de Incêndio² nas fileiras da organização.

Na busca de solucionar o problema de não mais contar com peritos na ativa, o CBMSC realizará em 2015 seu primeiro Curso de Formação de Perícia de Incêndio e Explosão, a ser realizado no próprio Centro de Ensino Bombeiro Militar³ com professores da própria organização e alguns advindos do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Para tanto, é necessário que se faça uma pesquisa de modo a levantar a necessidade de atualização e se expansão do material utilizado no Curso de Formação de Inspetores de Incêndio, uma vez que ele pode não ser suficientemente completo para formar os peritos – os quais precisam de um conhecimento mais aprofundado que aqueles repassados aos Inspetores.

No que diz respeito à importância da realização de perícias de incêndio Maus *apud* Acordi (1999; 2011, p. 22) expõe que:

A perícia de incêndio é a atividade que tem a atribuição de fechar o ciclo operacional do Corpo de Bombeiros Militar (CBM) em relação aos incêndios, pois avalia a fase preventiva ou normativa, em que as normas de segurança são elaboradas, a fase passiva ou estrutural, na qual os projetos preventivos são elaborados e aprovados e as vistorias preventivas são realizadas e, finalmente, a fase ativa ou de combate, em que ocorrem os incêndios que não foram evitados. A perícia de incêndio não tem por objetivo somente a descoberta das causas do incêndio, mas a análise de todas as circunstâncias que contribuíram para a ocorrência do sinistro e seu posterior combate.

Percebe-se, então, que a perícia de incêndio é atividade essencial à instituição que ora discute-se, pois além de subsidiar a descoberta da causa do sinistro, também é indispensável ao fornecimento de informações valiosas como: até que ponto os sistemas

¹ O tempo de serviço que os militares masculinos precisam para ir para a reserva remunerada é de trinta anos.

² Uma explicação detalhada da diferença entre o Inspetor de Incêndio e o Perito Oficial de Incêndio está contemplada no segundo capítulo deste trabalho.

³ O Centro de Ensino Bombeiro Militar (CEBM) é o centro onde são formados os bombeiros catarinenses. Ele é sediado no bairro Trindade da capital catarinense.

preventivos influenciam na extinção das chamas, qual sistema falhou – caso isto tenha acontecido – e como foi o comportamento da equipe operacional que atuou no combate às chamas, entre muitos outros elementos investigados.

1.4 Estrutura do Trabalho

A monografia está estruturada em quatro capítulos e mais 3 apêndices. No primeiro capítulo é desenvolvida uma introdução ao tema, em seguida a apresentação do problema de pesquisa é feita e os objetivos gerais e específicos enumerado. A justificativa da necessidade de pesquisa encontra-se neste primeiro tópico também. No encerramento do capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos que revestiram o trabalho de cientificidade e a estrutura da pesquisa monográfica.

Em seguida é apresentado o referencial teórico utilizado. Neste segundo capítulo breves apontamentos de assuntos relacionados à Ciência do fogo e à Investigação de Incêndios são desenvolvidos, como: mitos sobre o surgimento do fogo, histórico da perícia de incêndio em Santa Catarina, ciclo operacional do bombeiro, tetraedro do fogo e classes de incêndio.

No capítulo seguinte são analisados e discutidos os dados levantados durante a pesquisa. Serão enumerados os PUDs das diversas bibliografias pesquisadas, a proposta inicial feita pelo autor, as contribuições dos oficiais peritos da ativa e por fim a proposta final.

No quarto e último capítulo é feita a conclusão do trabalho. Uma revisão dos objetivos é feita e demonstra-se se os resultados estão alinhados aos mesmos ou não.

Nos apêndices do trabalho podem ser encontrados a proposta de material didático a ser utilizada no Curso de Formação de Peritos de Incêndio e ao Curso de Formação de Inspectores de Incêndio do CBMSC. É no apêndice que também estão transcritas as entrevistas realizadas com os Srs. BBMM Tenente-Coronel Biluk, Henrique e Vanderlino.

2 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão desenvolvidos alguns temas para melhor situar o leitor acerca da investigação de incêndio. Recomenda-se àqueles que não tiverem familiaridade com área que dispendam algum tempo na leitura destes trechos

2.1 A origem do fogo segundo fontes diversas

O fogo é um elemento poderoso, capaz de auxiliar os seres humanos nas mais diversas atividades mas também é gerador de destruição sem igual. Não é de se estranhar então que este fenômeno tenha vindo acompanhado de muitas explicações fantásticas por povos do passado, sempre associando-o com algo místico e de propriedade dos deuses. Como tratar-se-á neste trabalho sobre a Ciência do Fogo é interessante que se faça neste momento uma contextualização das explicações anteriormente dadas ao fogo para poder, por comparação, perceber o avanço que se tem hoje em dia no conhecimento das chamas.

2.1.1 A lenda de Prometeus

Mindlin (2012) conta que nos mitos da Grécia Antiga, o fogo era disponível a todos os seres – mortais ou imortais. Certa vez a carne de um touro estava sendo repartida e Prometeus tentou enganar Zeus, escondendo grande quantidade de carne em um bucho de aparência nada apetitosa. O referido deus ficou furioso e resolveu esconder o fogo nas copas de certas árvores, os freixos. Com esta ação, a raça humana é condenada a fome, pois não tem mais como cozinhar seus alimentos.

O mesmo autor prossegue dizendo que, arrependido de seu logro, Prometeus resolve subir aos céus no galho de uma planta de funcho e rouba uma semente do fogo dos deuses. Chegando novamente à sua cidade, o trapaceiro distribui o fogo entre as pessoas, fato este que causa a ira de Zeus novamente. O castigo dessa vez foi tirar dos homens o alimento da vida – os cereais. Diz a lenda que antes disso os homens não precisavam trabalhar, mas agora era preciso esconder as sementes que são roubadas por Prometeus na terra – é o início da agricultura.

É interessante notar que o fogo trazido não era igual ao dos deuses, que nunca apagava, e sim um fogo diferente, mortal como os homens. Por isso a necessidade do uso da lenha para mantê-lo vivo.

2.1.2 O fogo segundo os Jê

Mindlin (2012) aponta que nas mitologias indígenas os possuidores originais do fogo são, na grande maioria das vezes, os animais. Segundo o mito Kaiapó-Gorotire, um índio e seu cunhado foram um dia coletar ovos de arara, e quando o primeiro atirou para o cunhado os ovos, eles se transformaram em pedra – o que faz com que o cunhado abandonasse o outro no alto da rocha. Dias se passaram e o homem começa a sofrer da fome e da sede até ser salvo por uma onça macho. O animal o tira da pedra e lhe serve carne assada, prato desconhecido pelos homens, pois não possuíam fogo. A “esposa” da onça que o salvou tenta comê-lo. O índio então a mata e foge, levando para sua aldeia a carne assada. Os homens organizam uma incursão à casa das onças, de modo a roubar o estimado fogo.

2.1.3 A origem do fogo segundo os Suruí

Mindlin (2012) continua dizendo que segundo as lendas desta tribo, a onça – Mekô – era a dona do fogo. O deus máximo Palop pede que um pássaro, Orobab, roube o fogo com sua comprida cauda para que a humanidade, que passava frio e fome, pudesse utilizá-lo. Para aumentar as chances de sucesso de Orobab, Palop esfrega uma substância amarga em suas penas.

O autor diz que chegando à casa de Mekô, o pássaro começa a distraí-la com sua conversa e senta-se bem próximo ao fogo, apesar dos alertas da onça para que não se queime. Quando suas penas começaram a chamejar, Orobab foge e senta-se em três árvores – a de urucum, uma ainda não traduzida para o português e a de pau-brasil. Sendo que era destas árvores que os índios pegavam galhos para, por atrito, fazer fogo.

2.1.4 O mito da origem do fogo segundo os Yanomami

Finalizando, Mindlin (2012) conta que o dono do fogo originalmente era o jacaré, que ardilosamente comia taturanas assadas com sua mulher sapo, escondendo o fogo do

resto dos animais dentro de sua boca. Os demais animais – até então pessoas – só comiam as taturanas cruas. Planejando roubar o fogo, os animais decidem realizar uma festa para fazer o jacaré rir e, assim, espalhar as chamas.

Todos tentam fazer coisas engraçadas, mas o jacaré no máximo sorria. Foi então que um pássaro, provavelmente o cambaxirra-de-peito-branco, dançou e conseguiu fazê-lo rir. Todos tentaram fugir com as brasas, mas a esposa do jacaré conseguiu apagar o fogo jogando água. O povo de Japuguaçu – após ser transmutado em pássaros, conseguem voar e salvar o fogo – o que causa a fúria do sapo que lança uma maldição sobre as pessoas. O jacaré ficou tão apavorado com o roubo do fogo que se lança no rio, passando a viver no frio e no molhado como sua mulher.

2.2 Perícia de Incêndio em Santa Catarina

O ano que fez história para o Corpo de Bombeiros Catarinense no quesito de investigação de incêndios foi o de 1979. Cardoso (2014) traz que, no referido ano, o então Comandante do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Santa Catarina (CBPMSC), Tenente Coronel Pacheco, no intuito de ampliar as atividades executadas pelo Centro de Atividades Técnicas (CAT), enviou ao Corpo de Bombeiros do Distrito Federal os primeiros oficiais catarinenses para que fizessem o Curso de Perícia de Incêndio. Os escolhidos foram o Capitão Ulisses Kuntze e o 1º Tenente Luiz Antônio Cardoso.

Segundo Cardoso (2014) o objetivo dessa especialização dos integrantes do CAT era de melhorar as atividades preventivas, detectar e corrigir procedimentos incorretos de combate a incêndio e na preservação de locais de sinistros. Cardoso (2014, p. 102) faz a analogia de que as atividades periciais eram o “espelho retrovisor” que possibilitava avaliar o desempenho das atividades preventivas e operacionais de combate a incêndio.

Ainda sobre a importância e os objetivos da perícia de incêndio, continua Cardoso (2014, p. 102):

Servia para avaliar a adequabilidade e funcionalidade dos sistemas preventivos dimensionados para as edificações e os riscos que elas reuniam. Serviam também para avaliar o desempenho operacional das guarnições em ações de combate a incêndios e nos cuidados na preservação dos locais sinistrados. Manter o estado do local visava deixá-los idôneos para os trabalhos de perícia, possibilitando a investigação das evidências e provas existentes.

Cardoso (2014) conta que o primeiro laudo pericial elaborado pelos primeiros peritos do CAT foi o de uma ocorrência envolvendo a explosão de um volume de Gás

Liquefeito de Petróleo (GLP). Era uma manhã de domingo em janeiro de 1980, por volta das 10 horas. A ocorrência foi atendida pelo Chefe do Socorro⁴ 1º Tenente Norival de Lorenzi Cancelier. As primeiras providências para a perícia no local, no entanto, foram as realizadas pelo então Capitão Luiz Antônio Cardoso.

Continua Cardoso (2014) contando que a explosão aconteceu em uma quitinete do 10º andar do edifício Canadá, localizado na Rua Marechal Guilherme, no centro de Florianópolis. Por meio da investigação da cena, constatou-se que a explosão decorreria de uma Ação Pessoal Acidental quando da utilização descuidada de um fogão à gás.

Cardoso (2014) relata que a onda de choque provocada pela explosão projetou pedaços de alvenaria no interior e para o exterior da edificação. Tais fragmentos causaram ferimentos em uma moradora da unidade residencial e danos materiais extensos no prédio, em uma casa vizinha ao edifício e a veículos estacionados ao longo da via pública.

Após a formação destes pioneiros no estudo e na investigação de sinistros, outros também foram enviados à academia do CBMDF para que voltassem com a titulação de Perito de Incêndio – que além de atribuições de execução da atividade, também necessita coordenar e gerenciar as atividades no batalhão onde estiver lotado -, totalizando um total de dez militares habilitados na corporação. Segundo Sarte (2009, p.33) são eles:

- 2º Ten PMSC Anselmo Souza (1982)
- 1º Ten PMSC João Duarte Vidal (1986)
- Maj PMSC Luiz Antônio Cardoso – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC João Duarte Vidal – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC Álvaro Maus (1992)
- 1º Ten PMSC Cláudio Gomes (1992)
- 2º Ten PMSC Charles Fabiano Acordi (1998)
- 1º Ten PMSC Luiz Henrique Kirch (2000)
- 1º Ten PMSC Edson Luiz Biluk (2002)
- 1º Ten PMSC Vanderlei Vanderlino Vidal (2002)

Destes dez peritos, somente continuam na ativa quatro: Tenente-Coronel Biluk, Tenente-Coronel Henrique, Tenente-Coronel Vanderlino e Major Charles. Sendo que dois

⁴Chefe de Socorro é como é denominado o comandante da guarnição de serviço de determinado dia. Geralmente é um Sargento.

deles já se encontram em vias de passar para a reserva remunerada (Tenente-Coronel Biluk e Tenente-Coronel Henrique).

De acordo com Sarte (2009, p. 33), em vista da escassez de oficiais peritos formados, dos custos de enviar um militar para habilitar-se em Brasília – uma vez que o curso de formação possui duração aproximada de seis meses e há direito de diárias para o aluno – e da impossibilidade de enviar um perito para cada ocorrência de incêndio no estado, o CBMSC tomou a decisão de preparar seus praças (Subtenentes, Sargentos, Cabos e Soldados) para realizarem investigações de incêndio e produzirem Informes Periciais, os quais são supervisionados por peritos.

Esta capacitação se dá por meio do Curso de Inspetores de Incêndio nível I, com carga horária aproximada de 60 horas/aula.

O Informe Pericial que é elaborado pelos Inspetores de Incêndio tem, segundo Vidal (2007, p. 21), “a finalidade de estudos internos para a Corporação, mas poderá ser tornado público, mediante solicitação de autoridade policial, judicial ou do proprietário ou responsável pela edificação, mas nesse caso, o documento passará pelo crivo de um Perito de Incêndios”.

Os Inspetores atuam logo após toda e qualquer ocorrência de incêndio em edificações, com vistas a identificar todas as informações disponíveis no local do sinistro. De modo a proteger os Inspetores de determinados questionamentos legais, o Comando Geral, por meio da Diretriz de Procedimento Operacional Padrão (POP) Nr 24 – CmdoG, dita que:

[...]

8) efetuar a comunicação da ocorrência de incêndio ou explosão em edificação à Delegacia de Polícia Civil da circunscrição da ocorrência, podendo fazê-lo de forma verbal e mesmo por telefone, registrando-se, obrigatoriamente, no relatório de ocorrência (E-193), o nome do servidor comunicado;

9) qualquer ocorrência de incêndio e/ou explosão em edificação, sempre que houver vítima fatal, além de comunicar à Delegacia de Polícia Civil, deve comunicar a equipe do IGP e aguardar a sua chegada, iniciando os trabalhos de investigação com a presença desta equipe;

10) nas ocorrências de incêndio e/ou explosão em edificação, que houver, de pronto, evidências de ação humana direta, ou mesmo do incêndio ocorrer vítimas não fatais, verificar junto ao IGP se os mesmos realizarão investigação no local; caso positivo, aguardar e realizar a investigação de forma conjunta, de maneira a não descaracterizar o local; caso negativo, prosseguir com a investigação;

[...]

12) se durante os trabalhos de investigação do local do sinistro, forem encontradas evidências de ação humana direta, interrompe-se os trabalhos e comunica-se de imediato ao perito de incêndio do BBM, ou outro oficial designado para esta função e à Delegacia de Polícia Civil e ao IGP, para conforme a intenção da Polícia Civil ou do IGP, procedam o acompanhamento da investigação de incêndio a ser desenvolvida pelo Corpo de Bombeiros Militar, ou realizem conjuntamente os trabalhos periciais;

13) ainda que durante os trabalhos de investigação, não sejam levantadas evidências imediatas, mas que ao final, conclua-se como causa do incêndio ação humana direta e o IGP não tenha realizado a perícia, encaminha-se de imediato, cópia do laudo ou informe pericial ao Delegado de Polícia da Comarca, juntamente com as provas levantadas;

O ano de 2015 será um ano que entrará para história da investigação de incêndio em Santa Catarina, da mesma maneira como o foi o ano de 1979. Isso se deve ao fato de que em 2015 será ministrado o primeiro Curso de Perícia de Incêndio no estado catarinense.

O curso terá aproximadamente 400 horas/aula, sendo que 30 horas são dedicadas ao estudo da Ciência do Fogo. O curso tem previsão de início para o mês de setembro de 2015.

2.3 Ciclo Operacional do Bombeiro

O ciclo operacional do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina é constituído por quatro fases: fase preventiva ou normativa, fase passiva ou estrutural, fase ativa ou de combate e por fim a fase investigativa ou pericial. Vidal (2007) aponta que tal regramento veio das ciências da administração com seu ciclo PDCA – Planning (planejar), Doing (executar), Checking (verificar) e Act (corrigir).

Segundo Vidal (2007, p. 14) o ciclo ora tratado foi introduzido no país durante a década de 70 por meio de técnicos da Agência Japonesa de Cooperação Internacional, que repassaram os conhecimentos de sua doutrina aos bombeiros de São Paulo, Rio de Janeiro e Distrito Federal.

2.3.1 Fase Normativa

A fase normativa tem por principal objetivo impedir que as ocorrências aconteçam, ou ao menos, reduzir ao máximo a probabilidade de acontecerem. Isto é feito por meio de estudos, análises, revisão de normas nacionais e internacionais e elaboração de regamentos próprios.

De acordo com Maus (2006, p. 33) o processo normativo pode ser dividido em dois: a normatização interna e a normatização externa. Esta é, como o nome sugere, voltado à edição de normas e procedimentos para o público externo à corporação, o qual faz uso da atividade seja elaborando ou executando os projetos preventivos contra incêndio.

Exemplo desta normatização são as Instruções Normativas (IN), editadas pela corporação.

Já a segunda normatização, a interna, é voltada a padronizar normas e procedimentos voltados ao público interno da corporação com responsabilidades afeitas à análise de projetos preventivos contra incêndio e à vistoria *in loco* das edificações.

Apesar da separação conceitual, Maus (2006, p.33) alerta que a distinção é meramente retórica, uma vez que na prática as duas se confundem e se entrelaçam já que precisam ser construídas de forma consequente e coerente.

De acordo com Sarte (2009, p. 24) a competência para a realização da fiscalização, normatização e supervisão do cumprimento das Normas de Segurança Contra Incêndio compete à Diretoria de Atividades Técnicas (DAT). Acordi, Biluk e Kirch (2014) traz que os recursos humanos utilizados são compostos de pessoal formado ou especialista nas atividades de segurança contra incêndio, perícia de incêndio e explosões e na elaboração de textos normativos. Os recursos materiais são constituídos por um extenso acervo bibliográfico de normas e catálogos técnicos sobre equipamentos, sistemas, processos e métodos de segurança.

Finalmente, Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 154) traz que “O custeio das atividades da fase normativa é da responsabilidade da própria corporação”. Logo é o próprio Corpo de Bombeiros que precisa, por meios próprios, arcar com os custos desta fase.

2.3.2 Fase Passiva

A fase passiva, ou estrutural, tem a finalidade de minimizar as consequências e as avarias de um sinistro que, apesar da influência da fase anterior, não pôde ser evitado. Isto é feito com a instalação, manutenção e operação de sistemas e dispositivos de segurança contra incêndio.

Para Maus (2006, p. 48) esta é a fase em que os ditames da fase normativa começam a criar forma por meio dos projetos e edificações. Internamente, acontece na forma das vistorias em edificações e locais de eventos.

Segundo Sarte (2009, p. 25) no CBMSC “[...], em cada uma de suas unidades operacionais, funciona uma Seção de Atividades Técnicas (SAT), a qual [...] fiscaliza e faz cumprir as NSCI em suas respectivas áreas de abrangência. São realizadas pela SAT as atividades de vistoria e análise de projetos[...]”.

As citadas NSCI são as Normas de Segurança Contra Incêndio que hoje são as instruções normativas editadas pela DAT.

As vistorias realizadas pelos bombeiros militares de Santa Catarina visam fiscalizar a instalação e o funcionamento dos sistemas preventivos de acordo com as normas da corporação. Elas podem ser de: vistoria de habite-se e vistoria de funcionamento. As primeiras têm por objetivo garantir que os sistemas preventivos apontados nos projetos aprovados pelo CBMSC foram de fato executados. Já as últimas fornecem às Prefeituras Municipais a informação de que a edificação comercial ou industrial está em condições de funcionar, do ponto de vista da segurança contra incêndio.

Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 154 - 155) informa que:

Os recursos humanos da fase passiva ou estrutural constituem-se de pessoal habilitado, com formação ou especialização nas atividades de elaboração de projetos, instalação, manutenção e operação de sistemas e dispositivos de segurança e ainda, de pessoal especializado em segurança física de estabelecimentos. Os recursos materiais constituem-se de sistemas preventivos, equipamentos e dispositivos de segurança contra incêndios. Como exemplos de recursos humanos podemos citar os bombeiros que realizam as vistorias preventivas contra incêndios e o pessoal das brigadas de incêndio. Como exemplo de recursos materiais, podemos citar o sistema hidráulico preventivo, o sistema de detecção e alarmes, sistemas preventivos por extintores e etc.

Figura 1: Bombeiros realizam vistoria em uma edificação



Fonte: Site da Câmara de Dirigentes e Lojistas. Disponível em http://www.cdlvca.com/v1/wp-content/uploads/2012/12/vistoria_cbm.df.gov.br.jpg. Acesso em 20 de julho de 2015.

Os autores informam que o custeio desta fase é por parte do próprio usuário interessado de que sua edificação esteja regularizada junto ao Corpo de Bombeiros Militar.

2.3.3 Fase Ativa

Talvez a fase pela qual os Corpos de Bombeiros Militares sejam mais lembrados pela população em geral. É aqui que estão contempladas as ações de socorro realizadas pelos braços operantes da corporação. Sarte (2009, p. 26) ressalta que se as técnicas de combate a incêndio não forem corretamente aplicadas pelos combatentes, informações preciosas para a perícia poderão ser perdidas, dificultando ou até impossibilitando uma investigação posterior.

O autor Maus (2006, p. 71) expõe resumidamente que:

A fase ativa pode ser caracterizada como a hora da verdade. A hora em que todos os esforços despendidos na elaboração e na aprovação de um projeto, na instalação e aprovação dos sistemas de segurança, serão colocados à prova, diante da eclosão de um sinistro. É hora dos sistemas de segurança instalados atuarem. Os extintores terão que funcionar, assim como o hidráulico. As paredes e portas resistentes terão que resistir, o alarme a detecção que avisar, as escadas protegidas e enclausuradas que proteger, as luminárias que iluminar, as sinalizações que indicar, os corrimões e guarda corpos que amparar e as escadas e saídas que conduzir todos em segurança até área segura.

Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 154) afirma que “Os recursos humanos da fase de combate é composto pelos próprios militares da corporação. Os recursos materiais são aqueles disponíveis nas viaturas, pelotões, companhias e batalhões do estado. O custeio da atividade é de responsabilidade do Corpo de Bombeiros. No entanto parte do custeio também vem das taxas cobradas na fase passiva, dinheiro este disponível por meio dos convênios com os municípios”.

Figura 2: Bombeiros em combate



Fonte: Site Câmara Municipal de Belo Horizonte. Disponível em:

<<http://www.cmbh.mg.gov.br/sites/default/files/imagecache/LightBox/imagens/destaques/incendio.jpg>>

. Acessado em 20 de julho de 2015.

Apesar da fase ativa não ser realizada, em regra, pelo investigador de incêndio, é muito importante que, se possível, ele acompanhe as atividades de extinção do incêndio, pois muitas informações importantes são fornecidas pelo fogo quando ainda em atividade como: cor das chamas, intensidade, de onde está saindo, presença de fumaça, etc.

2.3.4 Fase investigativa

Fechando o ciclo operacional do CBMSC, tem-se a fase investigativa ou pericial. Esta tem por objetivo entender como determinado sinistro aconteceu e todas as circunstâncias, a saber: causa, sub-causa, desenvolvimento, danos causados, salvados do incêndio, análise da atuação da guarnição do Corpo de Bombeiros, análise da eficiência dos sistemas preventivos, consequências do incêndio, etc.

Maus (2006, p. 72) aponta que os sinistros são a melhor fonte de lições e aprendizado, mas que grande parte desses benefícios são perdidos em ações de combate e rescaldo descuidadas.

Para o anteriormente citado autor, ainda não há que se falar em conflito de competência com o Instituto Geral de Perícias – IGP, uma vez que a atribuição do Corpo de Bombeiros Militar catarinense de periciar locais de incêndio é explícito na Constituição Estadual. Ainda expõe que ao IGP só interessariam os incêndios em que houvesse indícios de crime, enquanto que ao CBM interessam todos os locais de incêndio – uma vez que todos eles contêm informações valiosas às outras fases do ciclo operacional do bombeiro.

De acordo com Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 155) os recursos humanos desta fase são os Peritos, os Inspetores de Incêndio e os Técnicos de Laboratório. Ainda, os recursos materiais são os equipamentos de alta tecnologia para o emprego no campo e os equipamentos de laboratório para pesquisas e experiências.

Os supracitados autores ainda afirmam que o custeio desta etapa é de responsabilidade de toda a corporação.

Figura 3: Investigação de uma cena de incêndio.



Fonte: Site do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.cbm.sc.gov.br/images/stories/01_pericia1.jpg>. Acessado em 20 de julho de 2015.

Na imagem acima, um inspetor escava a cena de um sinistro.

2.3.4.1 A importância da fase investigativa

A investigação dos incêndios atendidos pelo CBM é da mais alta importância, uma vez que é por meio dela que o Ciclo Operacional pode ser corretamente “fechado” - a análise do quanto bem as fases normativa, passiva e ativa foram realizadas e do que aconteceu de errado é trabalho da fase investigativa. Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 155) traz muito bem a importância da quarta fase quando escreve que:

[...] é importante porque fornece subsídios fundamentais para as indústrias e profissionais que atuam na área de segurança; fornece subsídios fundamentais para as companhias seguradoras, especialmente nos processos de regulação e liquidação de sinistros; fornece subsídios fundamentais para justiça na elucidação de fatos e atos criminosos em locais onde haja pressuposto de crime, notadamente contra a incolumidade pública; e, finalmente, fornece subsídios fundamentais para a própria Corporação, na retroalimentação das demais fases do ciclo operacional, ou seja, para a fase preventiva, para a fase passiva e para a fase ativa [...]

Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 155) trazem ainda uma série de exemplos em que a perícia de incêndio mostra-se essencial. Alguns dos dados são apresentados abaixo:

a) Subsídios fundamentais para as indústrias e profissionais que atuam na área de segurança

- Avaliar o comportamento dos sistemas e dos equipamentos de segurança existentes na área do prédio sinistrado aos efeitos do fogo e do calor intenso nos casos reais de incêndio;

- Desenvolver novos projetos, sistemas e equipamentos de segurança que atendam às situações e aos requisitos levantados na análise de casos reais de sinistro;

- Reavaliar ou redimensionar os projetos e os sistemas de segurança, em razão das falhas de concepção, dimensionamento, instalação, manutenção e operação ressaltadas na análise de casos reais de sinistros;

b) Subsídios fundamentais para companhias seguradoras

- Ratificar ou não os trabalhos de inspeção de risco que precedem a contratação do seguro;

- Ratificar ou não os trabalhos de regulação e de liquidação de sinistro, que são procedidos após o evento;

- Confrontar a importância segurada com o valor em risco, os prejuízos e os salvados do sinistro. Conferir a localização, ocupação e tipo de construção do prédio sinistrado e confirmar ou não a existência de sistemas de segurança contra incêndio;

c) Subsídios fundamentais para a Justiça

- Considerando que as operações típicas de bombeiro, em quase sua totalidade, desenvolvem-se em locais ou sob condições onde há presunção de crime, como por exemplo: casos reais de incêndio, de explosão, de inundação, etc. O registro de dados é de extrema importância para a elucidação do fato, inclusive indicando alterações procedidas no local, necessárias para o bom desempenho das operações de socorro. É da responsabilidade do comandante do socorro, certificar-se de que todas as informações estão registradas em relatório;

- A análise de casos reais de sinistro permite a configuração e a caracterização da existência de crime, notadamente dos crimes contra a incolumidade pública;

- No caso de incêndio, identificar o local em que houver começado e o perigo que dele tiver resultado para a vida ou patrimônio alheio, além de registrar a extensão dos danos, do seu valor e as demais circunstâncias que interessam para a elucidação do fato;

- A identificação da causa do incêndio, conjugada com processos investigativos para identificação de autoria, a ser executado pelo órgão policial competente, permitirão que o órgão judicial decida o caso concreto;

d) Subsídios fundamentais para o Corpo de Bombeiros, relacionados a cada fase do ciclo operacional.

- Para a fase normativa, evitar a ocorrência futura de sinistro com riscos idênticos aos riscos do caso real analisado. É possível, ainda, estudar, revisar e elaborar normas de segurança, assim como identificar as responsabilidades pelas falhas

que resultaram no descumprimento das normas de segurança. Os avanços tecnológicos podem tornar obsoletos alguns sistemas de segurança, gerando necessidade de revisão normativa, o que será possível identificar investigando os casos reais de sinistro;

- Para a fase Estrutural, é possível contribuir ao apontar falhas de projetos de segurança contra incêndios; falhas de concepção, dimensionamento, instalação, manutenção ou de operação de sistemas de segurança contra incêndios e propor novas medidas; apontar falhas de desempenho e propor programas de treinamento para o desenvolvimento de recursos humanos que efetivamente atuam na segurança física das edificações, no que se refere a sua segurança contra incêndios;

- Para a fase de Combate, será possível indicar falhas de viaturas e equipamentos típicos de bombeiro; falhas humanas nas operações de combate a incêndios; falhas táticas ou técnicas no emprego do poder operacional da Corporação; propor o redimensionamento do poder operacional, ou seja, a aquisição de novas viaturas e equipamentos especializados; propor o aperfeiçoamento do planejamento estratégico relativo à capacidade de mobilização e de articulação de poder operacional.

Como se percebe, a importância da perícia vai muito além de conhecer as causas que iniciaram o incêndio.

2.4 Fogo e Incêndio

É de se esperar que um leigo acredite que fogo e incêndio sejam fenômenos idênticos, sendo as duas palavras meros sinônimos. Mas para a Ciência do Fogo ambos possuem definições diferentes.

De acordo com Aragão (2010, p.56) o incêndio é o “fogo que lava extensamente em um material que não estava a ele destinado”. Continua o autor dizendo que:

O incêndio dentro de uma concepção ampla, técnica e jurídica, é uma combustão de sólidos, líquidos, gases ou vapores, com destruição plena ou parcial desses materiais, que, por sua proporção e circunstâncias, pode propagar-se, expondo a vida, a integridade física e/ou o patrimônio. Deve ser considerado que não é qualquer incidência de fogo que se ajusta ao ilícito penal, e sim o fogo perigoso ao indivíduo e ao patrimônio.

Já o termo fogo, segundo Aragão (2010, p. 77), pode ser entendido “[...] como o resultado de uma reação química exotérmica autossustentada, envolvendo combustíveis sólidos, líquidos e gasosos comumente associados com a oxidação desses combustíveis pelo oxigênio atmosférico, acompanhada da emissão de energia na forma de calor”.

Outro autor, Dehaan (2012, p. 33) conceitua fogo como “uma reação de oxidação exotérmica que ocorre a uma taxa tal que gera calor detectável e luz”.⁵ Daéid (2004, p. 08)

⁵ Citação original em inglês: “Fire is an exothermic oxidation reaction that proceeds at such a rate that it generates detectable heat and light”.

define fogo como “a reação química exotérmica envolvendo a oxidação de alguma substância (um combustível) resultando na liberação de energia na forma de luz e calor”.⁶

A norma NFPA 921 (2004, p.11) define fogo como “um rápido processo de oxidação, o qual é uma reação química que resulta em luz e calor em intensidades variadas”.⁷ Seito et al. (2008, p.35) traz que a NBR 13860 define que fogo é “o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”.

Como se percebe, os conceitos são variados mas, o conteúdo das definições é muito semelhante. Dessa forma, o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, de acordo com sua apostila de Combate a Incêndio Estruturais adotou o posicionamento de que o fogo é um processo de combustão, de oxidação rápida, autossustentável, acompanhado pela produção de luz e calor em intensidades variáveis. Já o incêndio é toda e qualquer combustão rápida, ou seja, fogo fora do controle do homem, que pode danificar ou destruir bens e objetos e lesionar ou matar seres vivos.

2.5 Tetraedro do fogo

Para que uma reação de combustão aconteça e mantenha-se é necessário a presença de quatro elementos essenciais: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. Estes quatro elementos são conhecidos como o tetraedro do fogo. De acordo com Aragão (2010), até pouco tempo atrás a reação em cadeia não fazia parte dos elementos essenciais, e a analogia feita era a do triângulo do fogo.

Sarte (2009, p. 38) diz que além dos componentes do tetraedro do fogo, uma condição favorável se faz necessária para que a combustão ocorra, já que a proporção de combustível e comburente é de importância ímpar na reação. A mistura inflamável poderá ser pobre, ideal ou rica. A mistura rica é aquela em que há muito combustível e pouco comburente. Já a mistura pobre é aquela em que se tem pouco combustível e muito comburente. Uma figura trazida pelo autor em seu trabalho é muito didática, sendo por isso reproduzida nesta pesquisa.

⁶ Citação original em inglês: “Fire can be defined as an exothermic chemical reaction involving the oxidation of some substance (a fuel) resulting in the release of energy in the form of light and heat.

⁷ Citação original em inglês: “A rapid oxidation process, which is a chemical reaction resulting in the evolution of light and heat in varying intensities”.

Figura 4: Queima de GLP



Fonte: Sarte (2009)

Perceba que não há chamas na zona de mistura rica nem na mistura pobre.

2.5.1 Combustível

O combustível é a substância que se oxida, ou seja, que perde elétrons no processo de combustão. Aragão (2010, p. 79) diz que para efeitos práticos de estudo de incêndio, combustível é “[...] toda e qualquer matéria, sólida, líquida ou gasosa que queima [...]”. Do ponto de vista da ciência, combustível é quaisquer substâncias que reajam quimicamente com o oxigênio (ou outro comburente) com desprendimento de fogo (calor e luminosidade)”.

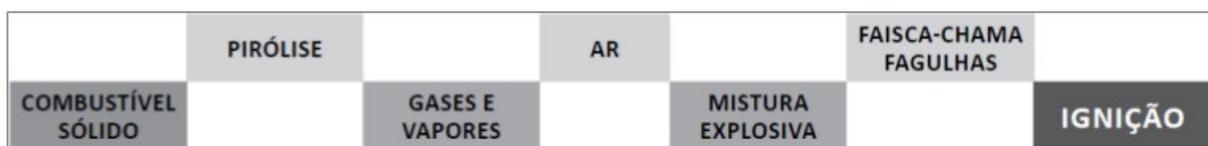
Tecnicamente quase todas as matérias podem ser combustíveis a determinada temperatura, porém, na prática, os incêndios geralmente atendidos pelos corpos de bombeiros não ultrapassarão um dado limite de temperatura. Por esse motivo, o CBMSC – de acordo com seu material didático referente a Combate a Incêndio Estrutural - arbitra que a fronteira entre os materiais combustíveis e os não combustíveis é de 1000 °C. Os

materiais que entram em combustão temperaturas menores que 1000 °C são combustíveis, enquanto os que só entram em processo de combustão acima desta temperatura são não combustíveis.

a) Combustíveis Sólidos

É comum pensarmos, ao ver um pedaço de lenha queimando, que é a própria madeira que está queimando, mas isto não é necessariamente verdade. Para que o pedaço de madeira possa pegar fogo é necessário que a energia térmica na forma de calor interaja com o combustível, fazendo com que a superfície entre em decomposição térmica e libere vapores – este processo é conhecido como pirólise. Estes vapores então, irão se misturar com o oxigênio atmosférico para formar a mistura inflamável, a qual poderá inflamar-se pela presença de uma fonte de ignição.

Figura 5: Combustível sólido



Fonte: Seito (2008)

A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível sólido entre em ignição.

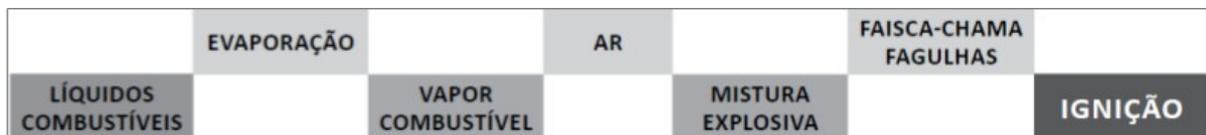
Outra propriedade dos combustíveis sólidos é a de possuir forma e tamanho definidos em virtude de seu arranjo molecular ordenado e coeso. Em virtude do processo de pirólise explicado acima, a relação superfície/massa do combustível sólido irá impactar com grande importância a velocidade de queima do material. Quanto maior for a relação, mais rápido irá queimar e de maneira inversa, quanto menor for esta relação, mais devagar queimará o material.

Basta imaginar um tronco sólido de madeira de grande diâmetro. Ao tentar iniciar o processo de combustão neste tronco se perceberá que é muito difícil, justamente pela relação superfície/massa ser pequena. Ao cortar este tronco em finas chapas é fácil supor que será muito mais fácil iniciar a combustão, já que a relação superfície massa foi aumentada. Imaginando que estas finas chapas foram reduzidas a pó, é simples deduzir que a combustão será imensamente mais rápida.

b) Combustíveis Líquidos

De maneira semelhante, mas não igual aos combustíveis sólidos, os líquidos também precisam passar por um processo de transformação antes de estarem aptos a formar uma mistura inflamável. Nos combustíveis líquidos é necessário que as moléculas que se encontram na superfície do líquidos passem para a forma de vapor e isto também é feito pela ação do calor - só que neste caso não é a pirólise que age e sim a vaporização. Os vapores formados irão se misturar com o oxigênio e formar a mistura inflamável que, na presença de fontes de ignição, poderá se inflamar.

Figura 6: Combustível líquido



Fonte: Seito (2008)

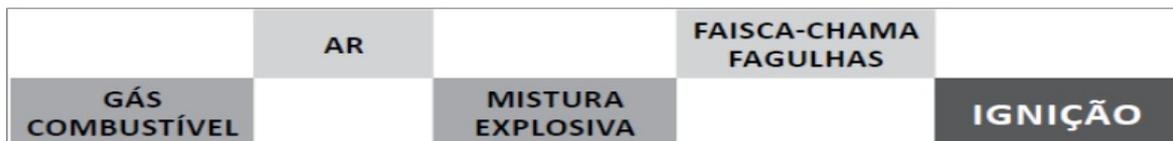
A figura acima mostra os passos necessários para um combustível líquido entre em ignição.

A vaporização demanda menor energia que a pirólise, sendo um dos motivos pelos quais os combustíveis líquidos são mais eficientes que os sólidos.

c) Combustíveis Gasosos

Por já se encontrarem na forma gasosa estão aptos a desde logo formarem a mistura inflamável com o oxigênio (ou outro comburente), não necessitando passar nem pelo processo de pirólise nem pelo de vaporização, sendo ainda mais eficientes que os combustíveis líquidos.

Figura 7: Combustível gasoso



Fonte: Seito (2008)

A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível gasoso entre em ignição.

2.5.2 Comburente

O oxigênio é, sem dúvida, o comburente mais conhecido por todos. De modo contrário ao combustível estudado no tópico anterior, que era o agente redutor da reação, o comburente é o agente oxidante – é quem ganha elétrons no processo de combustão. Oliveira (2005, p. 17) define que os agentes oxidantes “[...] são aquelas substâncias que cedem oxigênio ou outros gases oxidantes durante o curso de uma reação química”.

Aragão (2010, p. 80) define que comburentes são “[...] as substâncias que liberam facilmente oxigênio e ativam a combustão de outros materiais, tais como nitratos e cloratos, na realidade pode-se empregar como comburente outros compostos químicos oxigenados ou não. Por sua importância e disponibilidade, o oxigênio atmosférico se destaca”.

O ar atmosférico é composto por uma mistura homogênea de gases, estando entre os principais o dióxido de carbono, o nitrogênio, o vapor d'água e o oxigênio. Para efeitos de cálculos termodinâmicos o nitrogênio engloba os outros gases e diz-se que tem uma proporção volumétrica de 79% na atmosfera, enquanto o O₂ ocupa apenas 21% do total.

O comburente tem especial impacto na velocidade de queima de um incêndio. Oliveira (2005, p. 17) destaca que quando a quantidade de oxigênio descer de 21% para a faixa compreendida entre 16% e 8%, as chamas darão lugar a formação de brasas e, em concentrações menores do que 8% é muito provável que a combustão cesse. O mesmo autor (2005, p. 17), no entanto, chama a atenção para um fato interessante:

Entretanto, as investigações mais recentes mostram que à medida que aumenta a temperatura de um incêndio confinado, simultaneamente, menores concentrações de oxigênio são exigidas para que siga existindo a combustão com chama (fato normalmente observado em condições de temperatura de pós flashover – nas fases de desenvolvimento completo e diminuição do fogo – quando as concentrações de oxigênio são muito baixas, mas a temperatura interna do ambiente é muito alta).

A informação trazida pelo autor é da maior importância, pois vai de encontro ao que é comumente ensinado em cursos de Ciência do Fogo, em que a necessidade de oxigênio é contante, sem se alterar com a fase do incêndio.

2.5.3 Calor

O calor é por definição uma forma de energia. Aragão (2010, p. 78) define que o calor “[...] é uma forma de energia (em trânsito) caracterizada pela vibração das moléculas, capaz de causar mudanças físicas (de estado) e/ou químicas, e que se transmite de um sistema para outro, quando há uma diferença de temperatura (medida da agitação dos constituintes de um corpo) entre eles. O calor ou energia calorífica abarca componentes de condução, convecção ou radiação”.

O calor não é gerado somente por meio das reações de combustão, diversas outras formas de energia podem, eventualmente tornar-se energia térmica – fato explicado pela lei da conservação de energia. Oliveira (2005, p. 20) cita que:

O calor ou energia calorífica é gerado pela transformação de outras formas de energia, a saber, energia química (a quantidade de calor gerado pelo processo de combustão), energia elétrica (o calor gerado pela passagem de eletricidade através de um condutor, como um fio elétrico ou um aparelho eletrodoméstico), energia mecânica (o calor gerado pelo atrito de dois corpos) ou ainda, energia nuclear (o calor gerado pela fissão ou fusão de átomos).

É importante destacar o que Sarte (2009) traz em seu trabalho: os materiais combustíveis não têm calor “armazenado” neles, uma vez que este é por definição uma energia em trânsito. O que eles possuem é energia interna, uma forma de energia que é estudada em profundidade pela termodinâmica, principalmente pela sua primeira lei.

Pela conjugação dos ensinamentos de Russel (1994) e Atkins (2006) pode-se indicar que a energia interna de um combustível, representado pela letra U, é a soma das energias cinética e potencial de suas moléculas e ligações químicas. E ainda que devido aos constantes movimentos das partículas, é gerada uma energia térmica a qual é diretamente proporcional à temperatura do corpo.

Aragão (2010, p. 78) traz uma série de consequências nas substâncias e corpos pela ação do calor

- 1) É responsável direto pela dilatação dos corpos, sejam sólidos líquidos ou gasosos. Caso um gás esteja confinado, o calor será responsável pela sua dilatação e conseqüentemente pelo aumento de pressão dentro do local de confinamento;
- 2) É a força motriz pela qual a matéria consegue mudar seu estado físico;
- 3) É responsável pela ignição dos combustíveis;

Como se percebe, o calor é uma forma de energia que está intrinsecamente ligado a vários fenômenos da natureza.

2.5.4 Reação em Cadeia

É um elemento relativamente novo ao estudo da Ciência do Fogo, e foi graças a sua inserção que o triângulo do fogo tornou-se o tetraedro do fogo. Sabe-se hoje em dia que, a partir de determinada temperatura, a reação de combustão gera o próprio calor necessário para que continue processando-se. O mecanismo simplificado desta reação em cadeia é explanado por Oliveira (2005, p. 20):

A cadeia de reações, formada durante a combustão, propicia a formação de produtos intermediários instáveis, principalmente radicais livres, prontos a se combinarem com outros elementos, dando origem a novos radicais ou, finalmente, a corpos estáveis. Conseqüentemente, sempre teremos a presença de radicais livres em uma combustão. A estes radicais livres cabe a responsabilidade de transferir a energia necessária para a transformação da energia química em energia calorífica, decompondo as moléculas ainda intactas e, desta vez, provocando a propagação do fogo numa verdadeira cadeia de reação. Portanto, a reação em cadeia torna a queima auto-sustentável.

Uma analogia que facilita o entendimento da reação em cadeia é a de enfileirar dominós um em frente ao outro e, após derrubarmos o primeiro – ou seja, transferirmos energia ao sistema –, a energia desencadeada pela queda da primeira peça é suficiente para derrubar a próxima, que é suficiente para derrubar a próxima, etc.

2.6 Classes de Incêndio

Segundo Oliveira (2005), é possível dividir os incêndios em cinco classes, as quais indicam qual será o melhor agente extintor a ser utilizado em cada caso. A classificação adotada pelo CBMSC em seus cursos de combate a incêndio é a mesma utilizada pela *National Fire Protection Association* (NFPA), pela *International Fire Service Training Association*⁸ (IFSTA) e também pelos outros corpos de bombeiros militares brasileiros. Os incêndios podem ser então das classes A, B, C, D e K.

No entanto, em nossa doutrina pericial, a classe K é abrangida pelo classe B, conforme explicaremos mais a frente.

⁸Associação Internacional para o Treinamento de Bombeiros

2.6.1 Incêndios Classe A

Segundo Oliveira (2005), esta classe apresenta os materiais combustíveis sólidos comuns, tais como papel, madeira, plástico e borracha. Uma característica deste tipo de incêndio é que ele deixa resíduos (cinzas), em razão de ele queimar em superfície e em profundidade. O método mais indicado para extinguir um incêndio classe A é por meio do resfriamento – geralmente com água – mas também é possível valer-se de pós químicos secos de alta capacidade extintora ou mesmo do Líquido Gerador de Espuma (LGE).

Figura 8: Incêndios classe A



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

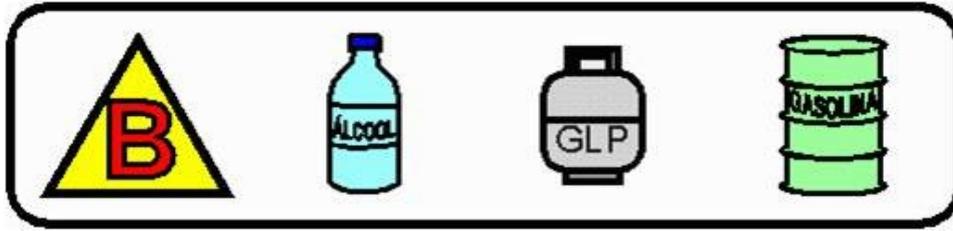
Recentemente os extintores de incêndio veiculares tiveram que ser substituídos para que tivessem poder de extinguir os incêndios classe A.

2.6.2 Incêndios Classe B

Estes são os incêndios que envolvem líquidos inflamáveis tais como a gasolina, álcool, querosene, hexano, etc. De acordo com Oliveira (2005), ao contrário dos incêndios classe A, os líquidos inflamáveis quando queimam não deixam resíduos. Além disso não queimam em profundidade, somente em superfície. O melhor meio para extinguir um incêndio classe B é por meio do abafamento (uso de LGE), por quebra da reação em cadeia (também conhecido como “abafamento químico”).

Dentro da doutrina, ainda existe o dito incêndio Classe K – que é aquele em óleos, gorduras de cozinha e piche derretido. Alguns conferem uma classe específica para essas substâncias por elas terem condições peculiares de combate, destacando-se a proibição de utilização de jato de água direto, pelo perigo de ocorrer o fenômeno do *boilover*. Esta distinção não será feita neste material didático. **Ou seja, para os propósitos do nosso curso, o incêndio classe K está englobado pelo classe B.**

Figura 9: Incêndio Classe B



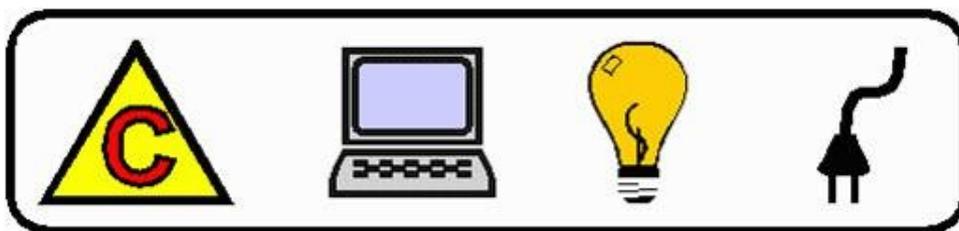
Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/b.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Os incêndios classe B tem potencial enorme de causar danos ao patrimônio e às pessoas. Acidentes com eles não são incomuns. Este foi um dos motivos que induziu a drástica diminuição da disponibilidade de álcool líquido nos supermercados, sendo este substituído pelo álcool gel.

2.6.3 Incêndio Classe C

São os incêndios que envolvem equipamentos elétricos energizados. O risco, nesta classe, não reside somente no perigo do fogo em si, mas também na energia elétrica dos aparelhos energizados, podendo vir a ferir ou matar bombeiros pelo contato direto ou pela condução elétrica na água usada no combate. Deve-se combater este tipo de incêndio com agentes não condutores de eletricidade, tais como os pós químicos e o dióxido de carbono.

Figura 10: Incêndio Classe C



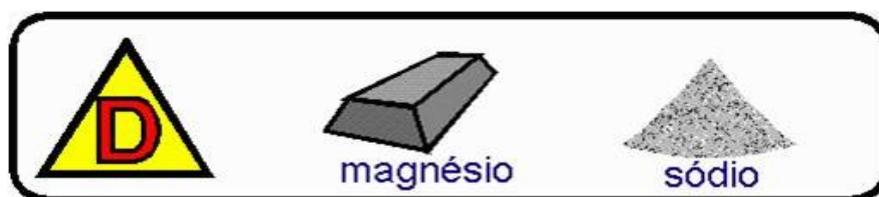
Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Caso a fonte de energia consiga ser localizada e eliminada, o incêndio classe C pode ser considerado um Classe A.

2.6.4 Incêndio Classe D

São aqueles que envolvem incêndio em metais combustíveis pirofóricos. Metais pirofóricos são aqueles que reagem violentamente na presença de água ou umidade tais como o magnésio, selênio, antimônio e sódio. Suas chamas atingem altas temperaturas e por suas propriedades químicas reagem de maneira indesejada com a água. A melhor maneira de extinguir um incêndio Classe D é por meio do uso de pós químicos especiais que agem na quebra da reação em cadeia.

Figura 12: Incêndio Classe D



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/d.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Figura 13: Sódio reagindo com água



Fonte: Imagem retirada da internet. Disponível em: <https://c2.staticflickr.com/2/1274/591321214_b2daeffa33_m.jpg>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Na Figura 13 se vê o que ocorre quando se coloca uma pequena massa de sódio metálico em um pouco de água. A reação é violentíssima e libera grande quantidade de calor. Este é o motivo pelo qual estes elementos devem ser conservados dentro de substâncias sem oxigênio, como o queronesse.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos que embasaram a pesquisa, por meio da descrição do método e das técnicas de pesquisa utilizadas. Acordi (2011, p. 75) aponta que a descrição detalhada dos procedimentos é muito importante, já que é isto que irá garantir a cientificidade do trabalho.

3.1 Classificação da Pesquisa

Lakatos e Marconi (2010, p. 65) definem método como “o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”.

O supracitado autor ainda leciona que o método científico não é exclusividade da ciência, mas não há ciência sem o emprego de métodos científicos.

Já Cervo et al. (2012, p. 27) definem método como “a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim ou um resultado desejado. Nas ciências, entende-se por método o conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade”.

A partir das definições dos autores citados acima se traçou a estratégia pela qual seria construída o presente trabalho e quais métodos e técnicas forneceriam o melhor embasamento científico para validar-lhe.

O método mais acertado para o problema de pesquisa é o indutivo. Segundo Lakatos e Marconi (2010, p. 68) indução é:

[...] um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam.

Outro autor, Cervo et al. (2012, p. 44), define que “O argumento indutivo baseia-se na generalização de propriedades comuns a certo número de casos até agora observados e a todas as ocorrências de fatos similares que poderão ser verificados no futuro”.

Há ainda duas formas de indução: a completa, ou formal; e a incompleta ou científica.

Cervo et al. (2012) explica que a primeira foi estabelecida por Aristóteles. Neste tipo de indução todos os casos de uma espécie ou gênero são utilizados para a construção do conhecimento, e não apenas alguns; Já a segunda foi popularizada por Francis Bacon e ao contrário da anterior, utiliza-se de alguns casos observados a partir da espécie que os compreende. Lakatos e Marconi (2010, p. 71) muito bem apontam que “a indução científica fundamenta-se na causa ou na lei que rege o fenômeno ou fato, constatada em um número significativo de casos (um ou mais), mas não em todos”.

Em vista das definições apresentadas pelos autores acima – e se os resultados desta investigação apontarem que o material utilizado não é adequado ao objetivo de capacitação de peritos - é certo que a partir de premissas específicas – vale dizer, os Programas de Unidades Didáticas (PUD) das literaturas já consagradas sobre o tema de Ciência do Fogo e Investigação de Incêndio – generalizar-se-á tais premissas iniciais para o caso geral, ou seja, torná-las aptas a serem o PUD “ideal” para o Curso de Formação de Peritos e de Inspetores de Incêndio do CBMSC.

Uma vez delimitado o método de pesquisa, passa-se então para a técnica. Marconi e Lakatos (2010, p. 157) define técnica como o “[...] conjunto de preceitos ou processos de que se serve uma ciência ou arte; é a habilidade para usar esses preceitos ou normas, a parte prática. Toda ciência utiliza inúmeras técnicas na obtenção de seus propósitos”.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho baseia-se na análise de diferentes PUDs para induzir qual seria o PUD ideal para o Curso de Formação de Peritos de Incêndio do CBMSC, a técnica utilizada é a da Documentação Indireta – a qual poderá ser documental (fontes primárias) ou bibliográfica (fontes secundárias).

Como as fontes consultadas serão secundárias, a pesquisa será bibliográfica por definição. Marconi e Lakatos (2010, p. 166) define que:

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc., até meios de comunicação oral: rádio, gravações em fita magnética e audiovisuais: filmes e televisão. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto, inclusive conferências seguidas de debates que tenham sido transcritos por alguma forma, quer publicadas, quer gravadas.

Cervo et al. (2012, p. 60, 61) traz que “A pesquisa bibliográfica procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em artigos, livros, dissertações e teses. [...] A pesquisa bibliográfica é meio de formação por excelência e constitui o

procedimento básico para os estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do *estado da arte* sobre determinado tema”.

Gil (2010, p. 30) informa que “A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço”.

Além da pesquisa documental bibliográfica também foi feito uso da técnica de entrevistas para levantar informações que não se encontravam disponíveis em acervos escritos. Dentre os diversos tipos de entrevista disponíveis ao cientista para o levantamento de dados, utilizou-se a padronizada ou estruturada. Marconi e Lakatos (2010, p. 180) definem que a entrevista estruturada é aquela “[...] em que o entrevistador segue um roteiro previamente estabelecido; as perguntas feitas ao indivíduo são predeterminadas. [...] O motivo da padronização é obter, dos entrevistados, respostas às mesmas perguntas[...]”.

3.2 Descrição da metodologia empregada

O trabalho está pautado na identificação de qual material é utilizado atualmente na formação dos Inspetores de Incêndio da corporação e, em seguida, analisar se tal material encontra-se suficientemente completo e atualizado para formar os Peritos de Incêndio do CBMSC.

Por meio do Sr. Major BM Charles Fabiano Acordi, obteve-se uma cópia digital da apostila utilizada como material de referência no curso de formação de Inspetor de Incêndio. Em seguida, por meio de um questionário padronizado, foram entrevistados três dos quatro peritos oficiais que ainda encontram-se no serviço ativo do Estado de Santa Catarina – uma vez que o quarto é o orientador desta pesquisa -, os quais são os Srs. Bombeiros Militares (BBMM) Tenente-Coronel Biluk, Tenente-Coronel Henrique, Tenente-Coronel Vanderlino. O quadro abaixo apresenta as respostas dadas ao questionamento: “O senhor acha que este material [o material utilizado na formação de Inspetores de Incêndio] seria adequado e suficiente para a formação de Peritos de Incêndio? Caso negativo, o que mudaria?”

Quadro 1: Necessidade de adequação do material didático de Ciência do Fogo

Perito BM	Resposta
Tenente-Coronel Biluk	Se a apostila fosse melhorada em relação à didática, de modo que os alunos pudessem melhor compreendê-la, com certeza é adequada.
Tenente-Coronel Henrique	Adequado eu poderia até dizer que é, mas ele poderia ser muito melhorado, porque a ciência evolui constantemente e não só novas descobertas a gente, mas a própria experiência nas perícias reais nos dão base para que novos assuntos sejam incluídos e outros sejam excluídos.
Tenente-Coronel Vanderlino	Não, não, ele não é adequado. Eu mudaria o foco em cima da NFPA 921 e em cima do manual que orienta o ensino baseado na NFPA 921 [...].

Fonte: Autor

Tendo em vista que todos os três peritos indicaram que haveriam mudanças a serem realizadas no material atualmente utilizado, passou-se então a pesquisa bibliográfica dos PUDs apresentados em outras literaturas, tanto a nível nacional como internacional. Também, tentou-se obter o material do CBMRJ e do CBMDF, mas não houve resposta por parte daquelas corporações.

No âmbito nacional, utilizou-se como referências: o próprio material de referência utilizado no Curso de Formação de Inspectores de Incêndio do CBMSC; o PUD utilizado no Curso de Formação de Peritos de Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal; o livro *A Segurança Contra Incêndio no Brasil* dos autores Alexandre Itiu Seito, Alfonso Gill, Fabio Domingos Pannoni, Rosaria Ono, Silvio Bento da Silva, Ualfrido Del Carlo e Valdir Pignatta e Silva; e o livro *Incêndios e Explosivos: Uma introdução à Engenharia Forense* dos autores Ranvier Feitosa Aragão, Celito Cordioli, Osvaldo Negrini Neto e Rodrigo Kleinnübing.

No âmbito internacional foram utilizadas as seguintes referências: *Fire Investigation*⁹, do autor Niamh Nic Daéid; o livro *An Introduction to Fire Dynamics*¹⁰ do autor Dougal Drysdale; o livro *Kirk's Fire Investigation Handbook*¹¹ dos autores John D.

⁹ Em português, *Investigação de Incêndios*

¹⁰ Em português, *Uma introdução à Dinâmica do Fogo*

¹¹ Em português, *Manual de Investigação de Incêndio de Kirk*

Dehaan e David J. Icove; e por fim a norma estadunidense da *National Fire Protection Agency*¹² (NFPA) 921 que regula a investigação de incêndios.

De posse destes materiais foi feita minuciosa análise do que cada um deles trazia como essencial no ensino da Ciência do Fogo. Foi criada uma tabela no programa computacional Calc em que cada coluna correspondia ao PUD de uma destas literaturas onde pode-se perceber semelhanças e diferenças.

Ao fim desta primeira análise foi feita uma coluna final na planilha contendo uma proposta “modelo” de qual deveria ser o PUD ideal do curso de formação dos Peritos de Incêndio e dos Inspetores de Incêndio. Foi feita a apresentação desta primeira proposta ao orientador deste trabalho, o qual posicionou-se favoravelmente à levá-la aos outros peritos militares para que estes deliberassem acerca do que foi produzido, de pontos a serem adicionados ou retirados.

Estas entrevistas foram realizadas pessoalmente com os Srs. BBMM Tenente-Coronel Henrique e Tenente-Coronel Vanderlino por estarem na região da Grande Florianópolis. A entrevista com o Sr. Tenente-Coronel Biluk teve que ser realizada mediante meios eletrônicos, uma vez que na época em que a pesquisa foi elaborada ele encontrava-se no comando no 9º Batalhão de Bombeiros Militar.

As sugestões dadas pelos militares acima mencionados foram, então, levadas ao Sr. Major Charles para, como orientador, servir como “filtro” do que considerava pertinente ao objetivo original da pesquisa. Cada apontamento dado pelos peritos foi aceito ou rejeitado fundamentadamente e, ao fim deste processo, foi decidido pelas metodologias científicas anteriormente citadas qual era o PUD ideal para a disciplina de Incêndio a ser ministrada tanto para o Curso de Formação de Peritos de Incêndio quanto para o Curso de Formação de Inspetores de Incêndio do CBMSC.

¹² Em português, Agência Nacional de Proteção contra Incêndios.

4 RESULTADOS

Uma vez que já foram apresentados os objetivos do trabalho, sua justificativa, procedimentos metodológicos e breves apontamentos de referencial teórico, passar-se-á à apresentação dos resultados obtidos com a pesquisa, sua discussão e fundamentação.

4.1 Primeiro momento: Pesquisa de PUDs na literatura existente.

Após a obtenção do material utilizado na formação dos Inspectores de Incêndio em seus cursos de formação e confirmação por parte dos peritos da ativa de que tal material necessitava, por um motivo ou por outro, de reformulação, passou-se a buscar materiais de referência que pudessem embasar uma atualização da apostila atualmente utilizada.

Os materiais utilizados foram obtidos de formas diferentes, alguns livros foram comprados pelo autor, outros estavam disponíveis na biblioteca do Centro de Ensino Bombeiro Militar e outros ainda foram obtidos por meio da internet. A seguir será apresentado o PUD de todos os materiais consultados – unicamente referente à Ciência do Fogo, uma vez que muitos destes materiais tratam de outros assuntos como metodologia de investigação de cena de sinistros ou incêndios com base em fenômenos elétricos - e utilizados como base para a construção da primeira proposta do PUD do curso de Perícia de Incêndio do CBMSC.

4.1.1 PUD Apostila de Inspectores de Incêndio CBMSC

Quadro 2: PUD da apostila de Inspectores de Incêndio do CBMSC

PUD Apostila de Inspectores de Incêndio CBMSC 2014
1. Incêndio
1.1 Histórico do Fogo
1.2 Propriedades e Estados Termodinâmicos
1.3 Entalpia e Combustão
1.4 Transferência de Calor
1.5 Combustão – Combustível, Comburente e Equação Química
1.6 Efeitos de Catalisadores na Combustão
1.7 Tipos de Chamas
1.8 Conceito e Classificação de Incêndios
1.9 Comportamento dos Incêndios
1.10 Fases do Incêndio

PUD Apostila de Inspectores de Incêndio CBMSC 2014

1.11 Avaliação Aproximada da Temperatura dos Incêndios
--

1.12 Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Estes eram os assuntos originalmente abordados na apostila dos inspetores do CBM.

4.1.2 PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília

Quadro 3: PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília

PUD do Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília
1. Revisão de Conceitos e Leis Químicas
1.1 Revisão: reações químicas, leis dos octetos, valência e balanceamento
1.2 Revisão: tabela periódica, oxidação e redução e exemplos
1.3 Revisão: compostos orgânicos, funções e nomenclatura
1.4 Revisão: noções de cinética química e sua aplicação em combustão
2. Emprego da Química na Análise de Incêndios
2.1 Comportamento químico dos incêndios
2.2 Retirada de amostra e ensaio laboratorial
2.3 Prática de Laboratório (oxidação de óleos vegetais)
2.4 Prática de Laboratório (testes, ensaios, etc.)
2.5 Corrosão
3. Conceitos Termodinâmicos e Noções de Transferência de Calor
3.1 Propriedades e estados termodinâmicos, energia, calor, trabalho e temperatura
3.2 Entalpia e Combustão
3.3 Leis da Termodinâmica
3.4 Transferência de Calor
4. Combustíveis
4.1 Conceitos e Classificação de Combustíveis
4.2 Celulose e madeira; Tecido e Papel; Plásticos e Borrachas; Petróleo – constituição e comportamento térmico
4.3 Alcoóis, acetileno e tintas – constituição e comportamento térmico
4.4 Combustíveis inorgânicos – constituição e comportamento térmico
5. Noções de Termoquímica
5.1 Entalpia molar padrão e variação da entalpia em reação química
5.2 Calor de Combustão e Poder Calorífico nas condições padrão
5.3 Carga de Incêndio - conceito

PUD do Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília
5.5 Calor de Combustão em temperatura variável
6. Comportamento dos incêndios
6.1 Ponto de fulgor, inflamação e ignição
6.2 Fases de Incêndio
6.3 Curva de tempo x temperatura (padrão e real em incêndios)
6.4 Avaliação da temperatura em incêndios
6.5 Transferência de calor x relação superfície/massa e efeitos na propagação dos incêndios
6.6 Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Estes são os assuntos lecionados para os peritos do Distrito Federal.

4.1.3 PUD da norma NFPA 921

Quadro 4: PUD NFPA 921

PUD NFPA 921
1. Ciência Básica do Fogo
1.1 Química da Combustão
1.2 Transferência de Calor
1.3 Ignição
1.4 Carga de Fogo
1.5 Desenvolvimento do Incêndio
1.6 Produtos da Combustão
1.7 A Propagação do Fogo em Edificações
2. Padrões de Fogo
2.1 Introdução
2.2 Dinâmica de Formação dos Padrões
2.3 Definições de Padrões de Fogo
2.4 Tipos de Padrão de Fogo
2.5 Efeitos de Superfície no Carvão
2.6 Spalling
2.7 Oxidação
2.8 Fusão de Materiais
2.9 Dilatação Térmica e Deformação de Materiais
2.10 Fumaça e Fuligem
2.11 Queima Limpa

PUD NFPA 921
2.12 Calcinação
2.13 Vidros de Janelas
2.14 Móvel Colapsada
2.15 Localização de Objetos
2.16 Localização de Padrões
2.17 Geometria dos Padrões
2.18 Padrões Lineares
2.19 Área dos Padrões
2.20 Distorção Material

Fonte: Autor

Estes são os ensinamentos passados pela “bíblia” da investigação de incêndio, a norma NFPA 921.

4.1.4 PUD do livro *Fire Investigation*

Quadro 5: PUD Fire Investigation

PUD Fire Investigation
1. Uma introdução aos Incêndios e à Investigação de Incêndios
1.1 Tipos de Incêndio
1.2 Incêndio e combustão
1.3 Propriedades físicas relevantes de materiais
1.4 Transferência de Calor
1.5 Combustão
1.6 Desenvolvimento e Comportamento de Incêndios em Compartimentos
1.7 Fatores que interferem no desenvolvimento de Incêndios
1.8 Espalhamento das Chamas para outros Compartimentos
2. Incêndios Causados por Causas Diversas de Problemas Elétricos
2.1 Combustão
2.2 Ignição
2.3 Fontes de Ignição em Combustíveis Sólidos

Fonte: Autor

Estes são os assuntos abordados pelo autor em sua obra, no que se refere à Ciência do Fogo.

4.1.5 PUD do livro Incêndios e Explosivos – Uma introdução à engenharia forense

Quadro 6: PUD Incêndios e Explosivos

PUD Incêndios e Explosivos
1. Introdução à Perícia de Incêndio
1.2 Conceitos de Incêndio
1.3 Propósitos de uma Perícia de Incêndio
2. Princípios Físico-Químicos da Ciência do Fogo
2.1 Fogo e Incêndio
2.2 Combustíveis e Comburentes
2.3 O Processo Químico de Combustão
2.4 Estado de Agregação dos Combustíveis
2.5 Poder Calorífico dos Combustíveis
2.6 Principais Reações de Combustão
2.7 Oxigênio e Inibidores de Combustão
2.8 Cinética Elementar da Combustão
2.9 A Reação em Cadeia
2.10 Faixa de Ignição e Limites de Ignição
2.11 A Ignição
2.12 Funções de Estado dos Combustíveis
2.13 A Velocidade de Combustão
2.14 Combustibilidade
2.15 Balanço Material e Energético da Combustão
3. Desenvolvimento de Incêndios
3.1 Fases do Ciclo Típico de um Incêndio
3.2 Meios de Propagação do Fogo
3.3 Evolução Natural Básica do Fogo
3.4 Propagação do Fogo Através dos Elementos da Construção
3.5 Disposições Construtivas e Confinamento do Fogo
4. Dinâmica do Fogo e Focos de Incêndio
4.1 Isocombustão e Incêndios Aplásticos
4.2 A Movimentação e a Velocidade do Fogo
4.3 Regras Práticas para Localização de Focos de Fogo
4.4 Morfologia dos Focos de Fogo Clássicos
4.5 Casuística
5. Processos e Fontes de Ignição
5.1 Princípios Básicos de Termodinâmica

PUD Incêndios e Explosivos
5.2 Processos e Fontes de Ignição
5.3 Calor Gerado por Fricção
5.4 Faíscas Mecânicas
5.5 Energia Solar
5.6 Combustão Espontânea
5.7 Chama Aberta e Incandescência

Fonte: Autor

Estes são os assuntos considerados relevantes por Ranvier Feitosa Aragão, em seu livro.

4.1.6 PUD do livro *Introduction to Fire Dynamics*

Quadro 7: PUD *Introduction to Fire Dynamics*

PUD <i>Introduction to Fire Dynamics</i>
1. Ciência do Fogo e Combustão
1.1 Combustíveis e o Processo de Combustão
1.2 A Físico-Química da Combustão em Incêndios
2. Transferência de Calor
2.1 Resumo das Equações de Transferência de Calor
2.2 Condução
2.3 Convecção
2.4 Radiação
3. Limites da Inflamabilidade e Chamas de Pré Mistura
3.1 Limites de Inflamabilidade
3.2 A estrutura das Chamas de Pré Mistura
3.3 Perda de Calor em Chamas de Pré Mistura
3.4 Mensuração da Velocidade de Queima
3.5 Variação da Velocidade de Queima em Parâmetros Experimentais
3.6 O Efeito da Turbulência
4. Chamas de Difusão e Plumas de Fogo
4.1 Chamas Laminares
4.2 Chamas Turbulentas
4.3 Chamas de Incêndios Naturais
4.4 Algumas Aplicações Práticas
5. Queima Constante de Líquidos e Sólidos

PUD Introduction to Fire Dynamics
5.1 Queima de Líquidos
5.2 Queima de Sólidos
6. Ignição
6.1 Ignição de Misturas Ar/Vapor Inflamável
6.2 Ignição de Líquidos
6.3 Ignição Assistida de Sólidos
6.4 Ignição Espontânea de Sólidos
6.5 Ignição de Superfície por Contato com Chama
6.6 Extinção de Chamas
7. Propagação das Chamas
7.1 Propagação de Chamas sobre Líquidos
7.2 Propagação de Chamas sobre Sólidos
7.3 Modelagem de Propagação de Chamas
7.4 Propagação de Chamas através de Leitões de Combustível
7.5 Aplicações
8. Ignição Espontânea em Sólidos e Combustão Latente
8.1 Ignição Espontânea em Sólidos
8.2 Combustão Latente
8.3 Combustão Incandescente
9. Incêndio Compartimentado Pré Flashover
9.1 Período de Crescimento e a Definição de Flashover
9.2 Crescimento até Flashover
10. Incêndio Compartimentado Pós Flashover
10.1 Regimes de Queima
10.2 Comportamento do Fogo Totalmente Desenvolvido
10.3 Temperaturas Alcançadas em Incêndios Totalmente Desenvolvidos
10.4 Resistência ao Fogo e Severidade do Fogo
10.5 Métodos de Cálculo de Resistência ao Fogo
10.6 Projeção de Chamas de Compartimento em Chamas
10.7 Propagação das Chamas de um Compartimento

Fonte: Autor

Como se pode ver, o livro de Drysdale é muito completo em sua abordagem, utilizando-se de uma matemática robusta para sua modelagem.

4.1.7 PUD do livro *Kirk's Fire Investigation Handbook*

Quadro 8: PUD Kirk's Fire Investigation Handbook

PUD Kirk's Fire Investigation Handbook
1. Introdução
1.1 Investigação de Incêndio
1.2 Os Problemas dos Incêndios
1.3 A Detecção de Incêndios Criminosos
1.4 Investigação de Incêndio Baseada na Ciência
1.5 Aplicando o Método Científico
2. A Química Elementar da Combustão
2.1 Elementos, átomos e compostos
2.2 Compostos orgânicos
2.3 Funções de estado dos combustíveis
3. Fundamentos de Comportamento do Fogo e Construção
3.1 Combustão Básica
3.2 Incêndio Com Chamas
3.3 Estrutura das Chamas
3.4 Incêndio Latente
3.5 Combustão Explosiva
3.6 Calor
3.7 Pluma de Fogo
3.8 Sequência de um Incêndio em um Compartimento
3.9 Vazão de Gases Quentes
3.10 Efeito das Condições Ambientais
4. Propriedades de Líquidos e Sólidos Combustíveis
4.1 Tipos de Combustível
4.2 Propriedades Físicas de Combustíveis
4.3 Hidrocarbonetos Combustíveis
4.4 Líquidos Combustíveis que não são Hidrocarbonetos
4.5 Combustão de Líquidos Combustíveis
4.6 Pirólise e Decomposição de Líquidos
4.7 Fontes de Gases Combustíveis
5. Propriedades de Combustíveis Sólidos
5.1 Pirólise
5.2 Propriedades de Ignição da Madeira
5.3 Papel

PUD Kirk's Fire Investigation Handbook
5.4 Plásticos
5.5 Tinta
5.6 Metais
5.7 Carvão
5.8 Produtos da Combustão de Combustíveis Sólidos
6. Fontes de Ignição
6.1 Introdução às Fontes de Ignição
6.2 Fontes de Ignição Primárias
6.3 Fontes de Ignição Secundárias
7. Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Estes são os assuntos referentes à Ciência do Fogo na ampla obra de Dehaan.

4.2 Segundo momento: proposta de um PUD ideal

Após análise de todos os PUDs das literaturas levantadas, iniciou-se o processo de “construção” do PUD que mais adequaria-se ao Curso de Formação de Peritos de Incêndio da corporação. Uma vez que as duas literaturas que traziam de forma mais completa os assuntos referentes à Ciência do Fogo eram os PUDs do Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Brasília e do livro *Kirk's Fire Investigation Handbook* utilizou-se estas duas referências como base na construção da proposta.

Em seguida pesquisou-se nas outras referências por outros assuntos que fossem relevantes a serem ministrado a um Perito de Incêndio e um Inspetor de Incêndio mas não estavam contempladas nas duas referências base.

Em outro momento foi levantado junto à supervisão escolar do Centro de Ensino Bombeiro Militar os PUDs da disciplina de Química do Curso de Formação de Oficiais (CFO) e da parte teórica da disciplina de Combate a Incêndio Estrutural do Curso de Formação de Soldados (CFSd) – que é quando os soldados tem uma introdução aos assuntos referentes à Ciência do Fogo, de modo que na proposta deste trabalho não fosse dada uma carga horária muito grande para matérias que já haviam sido lecionadas. Os dois PUDs encontram-se abaixo.

a) PUD da disciplina de Química do CFO

Quadro 9: PUD da disciplina de Química do CFO

PUD Química do CFO
1. Introdução à Química Geral
1.1 Finalidade
1.2 Grandezas e Unidades de Medida
1.3 Estrutura Atômica
1.4 Ligação Química e Reação Química
1.5 Soluções
2. Ácido-Base
2.1 Reações Ácido-Base
2.2 Ácidos Fortes e Bases Fortes
2.3 Ácidos Fracos e Bases Fracas
2.4 Tampão
2.5 Corrosão
3. Oxirredução
3.1 Números de Oxidação
3.2 Reações de Oxirredução
4. Termodinâmica Química e Termoquímica
4.1 Entalpia
4.2 Reação Endotérmica
4.3 Reação Exotérmica
4.4 Entropia
4.5 Termodinâmica dos Gases
5. Cinética Química
5.1 Teoria das Colisões
5.2 Fatores que interferem na velocidade de uma reação
6. Química do Fogo
6.1 Combustão
6.2 Entalpia de Combustão
6.3 Combustíveis
6.4 Oxidantes
6.5 Reação em Cadeia
7. Agentes Extintores
7.1 A água e suas propriedades físico-químicas
7.2 Pó Químico

PUD Química do CFO
7.3 Extintor Classe C
7.4 Extintor Classe K
8. Concreto
8.1 Propriedades

Fonte: Autor

Estes é o conhecimento de química que é repassado a todo cadete que ingressa na corporação.

b) PUD da parte teórica da disciplina de Combate a Incêndio Estrutural do CFSd

Quadro 10: PUD disciplina de Combate a Incêndio do CFSd

PUD Combate a Incêndio CFSd
1. Introdução à Ciência do Fogo
1.1 Conceitos Básicos
1.2 Elementos Essenciais à Combustão
1.3 Produtos da Combustão
1.4 Transferência de Calor
1.5 Condutores e Isolantes Térmicos
2. Comportamento do Fogo
2.1 Fases do Incêndio
2.2 Incêndios de Propagação Rápida
2.3 O Processo da Combustão
2.4 Classificação dos Incêndios
2.5 Métodos de Extinção

Fonte: Autor

De posse de todas estas informações foi construída a primeira proposta dos PUDs do Curso de Formação de Peritos de Incêndio e do Curso de Inspectores de Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. As duas propostas encontram-se transcritas abaixo.

c) Proposta de PUD para o Curso de Formação de Peritos de Incêndio do CBMSC

Quadro 11: Proposta de PUD para o Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC

PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio do CBMSC
1. Histórico do Fogo
2. Perícia de Incêndio

PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio do CBMSC
3. A Química e os Incêndios: Conceitos Importantes
3.1 Átomos e Elementos Químicos
3.2 Grupos Químicos de Interesse
3.2.1 Hidrocarbonetos
3.2.2 Alcóois
3.2.3 Cetonas
3.3 Estequiometria
3.4 Energia, Energia Interna, Temperatura, Calor e Trabalho
3.5 Lei Zero da Termodinâmica
3.6 1ª Lei da Termodinâmica
3.7 Entalpia e Lei de Hess
3.8 Calor Específico
3.9 Calor Latente
3.10 Equação de Gases Ideais
3.11 Noções de Cinética Química: Fatores que Alteram a Velocidade
3.12 Carga de Fogo
4. Tipos de Combustão
4.1 Combustão Completa
4.2 Combustão Parcialmente Completa
4.3 Combustão Incompleta
4.4 Outras Equações de Combustão
5. Formas de Transmissão de Calor
5.1 Condução
5.2 Convecção
5.3 Irradiação
6. Classes de Incêndio
7. Tetraedro do Fogo
8. Fenômenos Comuns em Incêndios
8.1 Flashover
8.2 Backdraft
9. Evolução Típica de Incêndios
9.1 Início
9.2 Crescimento
9.3 Crescimento à Flashover
9.4 Pós Flashover

PUD Curso de Formação de Peritos de Incêndio do CBMSC
9.5 Decrescimento
9.6 Efeitos das Condições Ambientais
10. Combustíveis
10.1 Funções de Estado dos Combustíveis
10.2 Propriedades Físicas dos Combustíveis
10.3 Avaliação da Temperatura de Incêndios
11. Combustão de Combustíveis Líquidos, Pirólise e Decomposição de Líquidos
12. Combustíveis Sólidos
12.1 Pirólise
12.2 Madeira
12.3 Papel
12.4 Plásticos
12.5 Tinta
12.6 Carvão
12.7 Produtos da Combustão de Combustíveis Sólidos
12. Fontes de Ignição

Fonte: Autor

Com base nas literaturas pesquisadas, esta é a primeira proposta de PUD ideal para o CBMSC.

d) Proposta de PUD para o Curso de Inspectores de Incêndio do CBMSC

Quadro 12: Proposta de PUD do Curso de Inspectores de Incêndio do CBMSC

PUD Curso de Inspectores de Incêndio do CBMSC
1. Histórico do Fogo
2. Perícia de Incêndio
3. Grupos Químicos de Interesse
3.1 Hidrocarbonetos
3.2 Alcoóis
4. Termoquímica e Termodinâmica
4.1 Lei Zero da Termodinâmica
4.2 1ª Lei da Termodinâmica
4.3 Entalpia
4.4 Calor Específico
4.5 Calor Latente

PUD Curso de Inspectores de Incêndio do CBMSC
5. Noções de Cinética Química
6. Carga de Fogo
7. Formas de Transmissão de Calor
8. Classes de Incêndio
9. Tetraedro do Fogo
10. Flashover e Backdraft
11. Evolução Típica dos Incêndios
12. Avaliação de Temperatura de Incêndios
13. Tipos de Chamas
14. Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Findada a primeira proposta foi montada uma planilha no software livre Calc, em que cada coluna continha o PUD de uma das literaturas consultadas. Nas duas últimas colunas estavam as propostas levantadas por esta pesquisa. Este material foi levado ao Sr. orientador deste trabalho, Major BM Charles, para que este pudesse sinalizar favoravelmente ou não à apresentação da proposta aos outros peritos. Após análise preliminar do material, o referido Major posicionou-se favoravelmente à continuidade da pesquisa – vale dizer, entrevistar os outros três peritos da corporação que ainda encontravam-se na ativa.

4.3 Terceiro momento: apresentação da proposta aos peritos da ativa da corporação

Neste momento do trabalho, serão apresentadas as contribuições dadas pelos três peritos entrevistados. Todas as sugestões passaram pelo crivo do Sr. Major Charles antes de serem incluídas na proposta de PUD, mas isto aconteceu em momento posterior ao das entrevistas. No entanto, apresentar-se-á desde logo cada sugestão com a respectiva deliberação do orientador, a fim de tornar mais fluida e dinâmica esta seção.

4.3.1 Entrevista com o Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Vanderlino

O Sr. Tenente-Coronel Vanderlino Vidal Ramos foi entrevistado no dia 09 de julho de 2015 na biblioteca do Centro de Ensino Bombeiro Militar. As sugestões e contribuições foram as que seguem.

a) Retirar o assunto Carga de Incêndio do PUD de Peritos e de Inspetores

A carga de incêndio já é estudada tanto pelos Cadetes quanto pelos Soldados da corporação na disciplina de Combate a Incêndio Estrutural (CIE) e, uma vez que é um assunto de fácil assimilação, bastaria que o aluno que não estivesse com os conceitos claros na memória buscasse seus materiais de referência de CIE e relembresse. Também, a carga horária que seria disponibilizada para este assunto pode ser melhor empregada com outros conceitos da Ciência do Fogo que são mais complexos. Sugestão acatada.

b) Acrescentar no PUD do Curso de Peritos de Incêndio a NBR 9442: Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante

Esta NBR traz um método seguro e eficaz para medir e descrever a propagação superficial de chama nos materiais, estando portanto no escopo dos diversos conhecimentos que um Perito de Incêndio deve possuir. A norma encontra-se em vigor e traz todo o método que deve ser seguido para executar corretamente este ensaio. Sugestão Acatada.

c) Adicionar os assuntos “Avaliação da Temperatura de Incêndios” e “Transferência de calor x relação superfície/massa e efeitos na propagação de incêndios” nos PUDs de Perito e Inspetor

O primeiro assunto sugerido, “avaliação da temperatura de incêndios”, já encontrava-se na proposta original. Em relação à segunda sugestão, ela é da maior importância uma vez que irá apresentar ao aluno a diferença que existe na propagação do

calor de acordo com a relação superfície/massa do objeto que está a queimar. Sugestão acatada.

d) Adicionar um capítulo referente a aulas práticas de laboratório nos PUDs de Perito e Inspetor.

A parte laboratorial e prática da disciplina de Ciência do Fogo é inegável, no entanto, existe um capítulo a parte na apostila completa do curso de Perícia de Incêndio e de Inspetor de Incêndio que trata especificamente sobre os equipamentos utilizados na investigação de incêndio o qual já deve trazer em seu escopo tais práticas laboratoriais. Assim, a referida sugestão – por mais meritória que seja – foge ao objetivo firmado para o trabalho. Sugestão não acatada.

e) Adicionar um item que fale sobre a oxidação de óleos vegetais no PUD de Perito de Incêndio tal qual no PUD do Curso de Perícia de Incêndio de Brasília

A oxidação dos óleos vegetais pode iniciar certos tipos de incêndio que podem tornar-se causas muito difíceis de apurar na investigação. Dessa forma é importante que estes conceitos sejam previamente repassados ao estudante de perícia em incêndio de forma que na vida profissional possa levar em consideração esse fenômeno como causa nos sinistros que participar. Sugestão acatada.

f) Adicionar no PUD dos Peritos e Inspetores um item que trate sobre a propagação do fogo através dos elementos de construção

O conhecimento, tanto por parte do perito quanto pelo inspetor, da forma como o fogo pode passar pelos elementos da construção e o que isso trará de consequências para a investigação é, também, elementar. Isto posto, é fundamental que um PUD ideal de Ciência do Fogo traga este conhecimento em sua estrutura. Sugestão acatada.

g) Estudar a possibilidade de correlacionar os assuntos tratados com àqueles que são trazidos pelo livro *Introduction to Fire Dynamics*.

O livro *Introduction to Fire Dynamics* do autor Dougal Drysdale é sem dúvida alguma um excelente material de referência da Ciência do Fogo. No entanto, sua abordagem é pesada no que tange o cálculo e as modelagens matemáticas. O conhecimento prévio por parte dos alunos de matérias como limite e continuidade, derivadas – de segunda ordem, parciais e outras – serve como um obstáculo à inclusão desta bibliografia na apostila que ora se propõe. Pelas razões apresentadas, sugestão não acatada.

h) Retirar o capítulo que fala sobre as formas de transmissão de calor do PUD de peritos e inspetores

Da mesma maneira que com o estudo da carga de incêndio, a qual foi tratada no item “a”, o estudo das formas de transmissão de calor já é feita na matéria de CIE tanto pelos Cadetes quanto pelos Soldados do CBMSC. Outrossim a compreensão das três principais formas de transmissão de calor é simples e necessita apenas uma consulta aos materiais de referência daquela disciplina para que possam ser lembrados. A carga horária que seria depositada ao ensino da transmissão de calor pode ser retransferida para outros itens mais complexos. Sugestão acatada.

i) Incluir os itens que tratam sobre “propagação de chamas sobre líquidos”, “propagação de chamas sobre sólidos”, “comportamento do fogo totalmente desenvolvido”, “temperaturas alcançadas em incêndios totalmente desenvolvidos”, “resistência ao fogo e severidade do fogo” e “propagação das chamas de um compartimento” do livro *Introduction to Fire Dynamics*

Igualmente ao discutido no item “g”, os assuntos que são contemplados pela obra de Dougal Drysdale são por demais densos para a apostila que é proposta por esta pesquisa, sendo inviável adentrar em tamanhos cálculos. Assim, sugestão não acatada.

4.3.2 Entrevista com o Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Henrique

A entrevista feita com o Sr. Tenente-Coronel Henrique ocorreu no dia 10 de julho de 2015 em sua residência. As contribuições do referido Tenente-Coronel encontram-se a seguir.

a) Manter as matérias que já foram lecionadas no CFO e no CFSd, mas com carga horária reduzida

Muitas vezes há um lapso temporal muito grande entre as disciplinas ensinadas nos cursos regulares de formação do bombeiro catarinense e os cursos de Perícia de Incêndio e Inspetor de Incêndio, sendo então necessário que uma pequena parcela de tempo seja dedicada a relembrar os instruídos de conceitos básicos que serviram como fundação dos mais complexos. Sugestão acatada.

b) Adicionar um item falando sobre as relações termodinâmicas de isotermia, isobaria e isovolumetria nos PUDs de perito e inspetor

As relações de gases ideais de isotermia, isobaria e isovolumetria não tem impacto significativo do estudo dos incêndios pois as condições de temperatura – e algumas vezes até de pressão devido a variação térmica dentro de volumes constantes – faz com que as situações ideais descritas raramente sejam atingidas, não exigindo um estudo por parte do aluno do curso regular de perícia e de inspetor de incêndio. Sugestão não acatada.

c) Adicionar, no capítulo referente a fenômenos comuns em incêndios, o *Boil over* e do *BLEVE* nos PUDs de perito e inspetor

Além dos conhecidos fenômenos de *Flashover* e *Backdraft* é interessante que seja apresentado os conceitos de *Boil over* e *BLEVE*, por mais que estes conceitos já tenham sido apresentados na disciplina de CIE. Da mesma forma como foi explicado na sugestão sobre oxidação de óleos vegetais, o *boil over* e o *BLEVE* podem ser o início de muitos incêndios, e é fundamental que o investigador tenha estes fenômenos em mente ao realizar a perícia do local. Sugestão acatada.

d) Adicionar um item que trate sobre os efeitos das aberturas nos incêndios – como janelas – nos PUDs de perito e inspetor

O efeito das aberturas é algo tratado de maneira diluída em outros tópicos da ciência do fogo e em outros capítulos da apostila completa como o de elementos

estruturais e metodologia de investigação da cena. Dessa forma, não cabe dedicar uma seção a parte na Ciência do Fogo para tratar somente sobre isto. Sugestão não acatada.

e) No capítulo referente a combustíveis tratar sobre a influência do receptáculo onde está contido, tanto no PUD de perito quanto de inspetor

O invólucro em que está contido o combustível irá exercer influência em como o incêndio irá processar-se, sendo – portanto – mister que o investigador na cena saiba levar em consideração tais efeitos. Sugestão acatada.

f) No capítulo que trata sobre os combustíveis sólidos, adicionar os itens referentes a cereais e derivados da borracha

Não é incomum no interior catarinense, onde o agronegócio é forte, o corpo de bombeiros deparar-se com cenas de incêndio para investigação em silos e outros depósitos de cereais. Já que assim é, o perito e o inspetor devem estar munidos de conhecimentos teóricos prévios acerca das características de incêndios com cereais. Quanto à borracha não há qualquer discussão da sua importância já que praticamente em todos os locais em que o investigador de incêndio atuar existirão materiais feitos de borracha. Sugestão acatada.

g) Adicionar um capítulo referente à combustão espontânea no PUD dos peritos

A combustão espontânea é uma matéria técnica e seu mecanismo é mais complexo do que as combustões usuais. Entretanto, é da maior importância que um perito saiba entender as bases de como se inicia este processo de combustão que gera seu próprio calor. Tal previsão já encontrava-se no PUD dos Inspectores de Incêndio e deve sim estar também no PUD dos peritos. Sugestão acatada.

h) Tratar sobre os oxidantes – eclosão de incêndios sem a presença de oxigênio – no PUD dos peritos

Da mesma maneira como é importante o estudo da oxidação dos óleos vegetais, também é o estudo dos oxidantes em geral. As justificativas para a inclusão da

oxidação dos óleos vegetais valem também para o estudo dos oxidantes como um todo. Sugestão acatada.

i) Incluir práticas laboratoriais na apostila de Ciência do Fogo

As justificativas apresentadas na entrevista com o Sr. Tenente-Coronel Vanderlino valem também aqui. Sugestão não acatada.

j) Adicionar um capítulo que tratasse sobre a detecção de incêndios criminosos no PUD do perito

A detecção de indícios de fogo com causa deliberadamente provocada não são afeitos ao estudo da Ciência do Fogo em si, mas à metodologia de estudo da cena e das análises químicas posteriormente feitas, por exemplo a detecção de acelerantes por cromatografia. Logo, tal sugestão é sim válida, mas não para o capítulo que ora propõe-se a escrever. Sugestão não acatada.

4.3.3 Entrevista com o Sr. Perito de Incêndio Tenente-Coronel Biluk

Dos três entrevistados o Sr. Tenente-Coronel Biluk foi o único que precisou ser entrevistado por meio de questionário enviado via correio eletrônico uma vez que na época de elaboração desta pesquisa encontrava-se no comando do 9º Batalhão de Bombeiros Militar, sediado em Canoinhas – SC. As sugestões encontram-se a seguir.

a) Incluir a disciplina de eletricidade básica, onde eles teriam o conhecimento sobre dimensionamento de sistemas elétricos (circuitos, fiação, aterramento e instalações elétricas)

Tal sugestão é válida já que grande parte dos incêndios que são analisados pelos peritos e inspetores tem origem em fenômenos elétricos, mas essa contribuição encontra-se em capítulo errôneo, pois há um capítulo todo dedicado ao estudo dos fenômenos elétricos e sua ligação com os incêndios. Sugestão não acatada.

4.4 Quarto momento: adição das contribuições dos peritos que foram aceitas como válidas pelo orientador Major Charles

Terminadas as entrevistas e deliberações por parte do orientador deste trabalho, passou-se a incluir as sugestões que foram consideradas válidas para o trabalho. Houve um “empate” em relação a manutenção ou não das matérias de Carga de Incêndio e Transmissão de Calor nos PUDs de peritos e inspetores. Uma vez que não houve consenso entre os entrevistados – um posicionou-se contra, um a favor e outro não falou nada a respeito – decidiu-se “pecar” pelo excesso e mantê-las, mas sem grande carga horária dedicada a tal.

a) PUD final do Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC

Quadro 13: PUD final do Curso de Formação de Perícia de Incêndio do CBMSC

PUD final do Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC
1. Histórico do Fogo
2. Perícia de Incêndio
3. A Química e os Incêndios: Conceitos Importantes
3.1 Átomos e Elementos Químicos
3.2 Grupos Químicos de Interesse
3.2.1 Hidrocarbonetos
3.2.2 Alcoóis
3.2.3 Cetonas
3.3 Estequiometria
3.4 Energia, Energia Interna, Temperatura, Calor e Trabalho
3.5 Lei Zero da Termodinâmica
3.6 Primeira Lei da Termodinâmica
3.7 Entalpia e Lei de Hess
3.8 Calor Específico
3.9 Calor Latente
3.10 Equação dos Gases Ideais
3.11 Noções de Cinética Química: Fatores que Alteram a Velocidade da Reação
3.12 Carga de Fogo
4. Tipos de Combustão
4.1 Combustão Completa

PUD final do Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC
4.2 Combustão Parcialmente Completa
4.3 Combustão Incompleta
4.4 Outras Equações de Combustão
5. Formas de Transmissão de Calor
5.1 Condução
5.2 Convecção
5.3 Irradiação
6. Propagação do Fogo Através dos Elementos da Construção ¹³
7. Classes de Incêndio
8. Tetraedro do Fogo
9. Fenômenos Comuns em Incêndio
9.1 Flashover
9.2 Backdraft
9.3 Boil over
9.4 BLEVE
10. Evolução Típica de Incêndios
10.1 Início
10.2 Crescimento
10.3 Crescimento à Flashover
10.4 Pós Flashover
10.5 Decrescimento
10.6 Efeitos das Condições Ambientais
11. Combustíveis
11.1 Funções de Estado dos Combustíveis
11.2 Propriedades Físicas dos Combustíveis
11.3 Avaliação de Temperatura de Incêndios
12. Combustão de Combustíveis Líquidos, Pirólise e Decomposição de Líquidos
13. Combustíveis Sólidos
13.1 Pirólise
13.2 Madeira
13.3 Papel
13.4 Plásticos
13.5 Tinta

¹³ Aqui está inserida a NBR 9442

PUD final do Curso de Perícia de Incêndio do CBMSC
13.6 Carvão
13.7 Borracha
13.8 Cereais
13.9 Produtos da Combustão de Combustíveis Sólidos
14. Fontes de Ignição ¹⁴
15. Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Este é o PUD final resultante da metodologia empregada neste trabalho científico.

b) PUD final do Curso de Formação de Inspectores de Incêndio do CBMSC

Quadro 14: PUD final do Curso de Formação de Inspectores de Incêndio

PUD final do Curso de Formação de Inspectores de Incêndio do CBMSC
1. Histórico do Fogo
2. Perícia de Incêndio
3. Grupos Químicos de Interesse
3.1 Hidrocarbonetos
3.2 Alcoóis
4. Termoquímica e Termodinâmica
4.1 Lei Zero da Termodinâmica
4.2 Primeira Lei da Termodinâmica
4.3 Entalpia
4.4 Calor Específico
4.5 Calor Latente
5. Noções de Cinética Química
6. Carga de Fogo
7. Formas de Transmissão de Calor
8. Propagação do Fogo Através dos Elementos da Construção
9. Classes de Incêndio
10. Tetraedro do Fogo
11. Flashover, Backdraft, Boil over e BLEVE
12. Evolução Típica dos Incêndios
13. Avaliação da Temperatura dos Incêndios
14. Tipos de Chamas

¹⁴ Aqui está inserido os oxidantes e oxidação de óleos vegetais

PUD final do Curso de Formação de Inspetores de Incêndio do CBMSC
--

15. Combustão Espontânea

Fonte: Autor

Terminada a exposição destas duas últimas tabelas apresentando os PUDs ideais finais para os Cursos de Perícia de Incêndio e de Formação de Inspetores de Incêndio de acordo com a metodologia explanada anteriormente, encerra-se o capítulo referente aos resultados e discussão deste trabalho.

5 CONCLUSÃO

A perícia de incêndio é uma responsabilidade elencada constitucionalmente aos Corpos de Bombeiros Militares e portanto deve ser realizada com o maior profissionalismo e técnica possíveis. Para tanto deve possuir em suas fileiras militares devidamente capacitados para bem realizar as atividades de investigação de incêndio.

Tanto é verdade que Vidal (2007, p. 60) finaliza que:

A corporação será a beneficiada direta a partir do momento que criar condições para o fechamento do ciclo operacional. Os reflexos também serão sentidos no público e nas entidades externas, com a possibilidade de atualização de normas de segurança contra incêndio, a possibilidade de auxiliar a Justiça, ou mesmo a redução de fraudes contra as empresas de seguro. Mais do que o cumprimento de norma legal, ao realizar efetivamente as perícias de incêndio, o CBMSC estará cumprindo mais uma vez com sua responsabilidade social.

Todos os quatro peritos que continuam na ativa foram formados pelo Curso de Perícia de Incêndios e Explosões do Distrito Federal, nunca tendo sido realizado no estado catarinense nenhum curso de formação de peritos de incêndio. Tal fato será modificado neste ano de 2015, que é quando será realizado o primeiro Curso de Formação de Peritos de Incêndio de Santa Catarina.

Primariamente foi verificado junto ao Sr. Major Charles que, de fato, o bombeiro catarinense tem um material de referência padrão para o ensino de investigação de incêndio aos seus militares. É uma apostila elaborada pelos próprios professores do curso, e mostrou-se que todos os três peritos indagados concordavam que ela necessitava de uma re-elaboração e de uma atualização. O contato com o CBMRJ e o CBMDF, com vistas a obter seus materiais padrão para o ensino de investigação de incêndio, foi infrutífero – não houve resposta.

Após a deliberação dos peritos a respeito da proposta inicial criada pelo autor, foi escolhido pelo orientador quais contribuições atendiam aos objetivos do trabalho e com base nelas elaborou-se os PUDs finais dos Cursos de Formação de Peritos de Incêndio e Inspetores de Incêndio, conforme tabelas 13 e 14.

De base deste PUD e das literaturas levantadas durante o trabalho, elaborou-se um material de referência a ser utilizado nos cursos de formação de peritos de incêndio e inspetores que passou pelo crivo da metodologia científica empregada e dos peritos da ativa do CBMSC, conforme apêndice I e II respectivamente.

Embasados nos resultados obtidos por esta pesquisa, pode-se afirmar com certeza que os objetos gerais e específicos foram alcançados.

Relata-se como dificuldades deste trabalho, a dificuldade em conseguir conciliar a rotina ocupada dos Oficiais Peritos entrevistados com a necessidade de obter informações para que o trabalho pudesse continuar seguindo seu fluxo. Também, o PUD final proposto ficou moderadamente abrangente, tornando dificultosa a tarefa de separar o que deveria entrar naquele determinado assunto e o que deveria ser deixado de lado, considerando o tempo relativamente curto para realizar a elaboração de um material didático.

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se que um outro pesquisador levante a necessidade de modificar o que é ensinado aos Cadetes e Soldados em seus cursos de formação regulares quanto à química e cálculo de modo a torná-los mais bem equipados de bagagem teórica para a realização de um curso mais aprofundado de Ciência do Fogo.

REFERÊNCIAS

ACORDI, Charles Fabiano. **Gestão do Conhecimento em Organizações Militares:** Um estudo de caso na atividade de investigação de incêndios. 2011. 178 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ACORDI, Charles Fabiano; BILUK, Edson Luiz; KIRCH, Luiz Henrique. **Curso de Inspectores de Incêndio:** Curso de formação de Sargentos. Florianópolis: 2014. Apostila

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. **Incêndios e explosivos:** uma introdução à engenharia forense. São Paulo: Millenium, 2010.

CARDOSO, Luiz Antônio. **Prevenção de Incêndios:** uma retrospectiva dos primeiros anos de atividades técnicas em Santa Catarina. Florianópolis: Papa-Livro, 2014.

CERVO, Amado L. et al. **Metodologia Científica.** 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DAEID, Niamh Nic. **Fire Investigation.** Florida: CRC Press, 2004.

DEHAAN, John D. Kirk's Fire Investigation. 7ª edição. Vallejo, California – USA: Pesson Prentice Hall, 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2010.

JÚNIOR, Arthur E. da Silveira. **Análise qualitativa da forma de preenchimento do informe pericial utilizado pelo CBMSC, visando ao aperfeiçoamento na gestão das informações obtidas.** 2012. 120 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Centro de Ensino Bombeiro Militar, Corpo de Bombeiros Militar, Santa Catarina. 2012.

JUNIOR, Oscar W. Barboza. **Estudo sobre a implementação do centro de estatística de incêndios do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.** 2012. 114 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Centro de Ensino de Bombeiros Militar, Corpo de Bombeiros Militar, Santa Catarina. 2012.

KIRCH, Luiz Henrique. **Preservação do local de crimes:** conhecimento dos bombeiros militares da 1ª companhia de bombeiros de Blumenau. 2007. 77 f. Monografia (especialização *Lato Sensu* em Segurança Pública) – Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Santa Catarina, 2007.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MAUS, Álvaro. **Segurança contra sinistros: Teoria geral**. Florianópolis: Editograf, 2006.

MINDLIN, Betty. O fogo e as chamas dos mitos. **Estud. av.**, São Paulo, v. 16, n. 44, p. 149-169, Abr. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100009&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 08 de setembro de 2015.

OLIVEIRA, Marcos de. **Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural** – Comando e controle em operações de incêndio. Florianópolis: Editograf, 2005.

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. São Paulo: Makron Books, 2004.

SANTA CATARINA, **Constituição do Estado de Santa Catarina**. Santa Catarina, 1989.

_____. Corpo de Bombeiros Militar. DtzPOP nº 002/Cmdo G CBMSC/2204. **Diretriz de Procedimento Permanente sobre o serviço de Perícia de Incêndio e Explosões**. Florianópolis, 2004.

SARTE, Anderson Medeiros. **Perícia de Incêndio: uma abordagem sobre a coleta de amostras sólidas e líquidas em edificações sinistradas pelo fogo**. 2009. 117 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Gestão de Emergências). Universidade do Vale do Itajaí – Univali, Santa Catarina, 2009.

VIDAL, Vanderlei Vanderlino. **Cromatografia na perícia de incêndios: técnicas para detecção de agentes acelerantes**. 2007. 65 f. Monografia (especialização *Lato Sensu em Segurança Pública*) – Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Santa Catarina, 2007.

APÊNDICE I – Proposta de apostila para o Curso de Perícia de Incêndio e Explosão

PALAVRA INICIAL

Caro aluno, o material didático que você tem em mãos foi fruto de uma pesquisa científica rigorosa, a qual contou com a participação dos peritos de incêndio da corporação e com a expertise do autor como Engenheiro Químico. A revisão bibliográfica para a elaboração deste manual contou com literaturas estrangeiras e nacionais. Procurei utilizar os referenciais mais atualizados que consegui encontrar, tanto os relacionados à ciência do fogo e à perícia de incêndio quanto os afeitos à química pura. Espero que este guia consiga orientar melhor seus estudos no que diz respeito à Ciência do Fogo e, talvez, inspirar o mesmo amor que sinto pela ciência. Críticas podem e devem ser feitas para que a qualidade dos investigadores de incêndio catarinenses seja cada vez mais elevada. Bons estudos!

SUMÁRIO

1. Histórico do Fogo.....	79
2. Perícia de Incêndio em Santa Catarina.....	82
3. A Química e os Incêndios: Conceitos Importantes.....	86
3.1 Átomos e Elementos Químicos.....	87
3.2 Grupos Químicos de Interesse.....	88
3.3 Estequiometria.....	93
3.4 Energia, Energia Interna, Temperatura, Calor e Trabalho.....	98
3.5 Lei Zero da Termodinâmica.....	102
3.6 Primeira Lei da Termodinâmica.....	102
3.7 Entalpia.....	103
3.8 Lei de Hess.....	105
3.9 Calor Específico.....	108
3.10 Calor Latente.....	109
3.11 Equação dos gases ideais.....	112
3.12 Cinética Química: fatores que alteram a velocidade de uma reação química.....	115
4. Tipos de Combustão.....	118
4.1 Reação de Combustão Completa.....	118
4.2 Combustão parcialmente completa.....	120
4.3 Combustão Incompleta.....	120
4.4 Outras reações de combustão.....	121
5. Formas de Transmissão de Calor.....	122
5.1 Condução.....	122
5.2 Convecção.....	124
5.3 Radiação.....	127
6. Propagação do Fogo Através dos Elementos da Construção.....	131
7. Classes de Incêndio.....	142
7.1 Incêndios Classe A.....	142
7.2 Incêndios Classe B.....	143
7.3 Incêndio Classe C.....	144
7.4 Incêndio Classe D.....	144
8. Tetraedro do Fogo.....	146
8.1 Combustível.....	147
8.2 Comburente.....	152

8.3 Calor.....	153
8.4 Reação em Cadeia.....	154
9. Fenômenos Comuns em Incêndios.....	156
9.1 Flashover.....	156
9.2 Backdraft.....	160
9.3 Boilover.....	164
9.4 BLEVE.....	166
10 Evolução Típica de Incêndios.....	169
10.1 Início.....	169
10.2 Crescimento.....	170
10.3 Crescimento à Flashover.....	172
10.4 Pós Flashover.....	173
10.5 Decaimento.....	173
10.6 Influência das condições ambientais.....	176
11. Combustíveis.....	180
11.1 Funções de estado dos combustíveis.....	180
11.2 Propriedades Físicas dos Combustíveis.....	182
11.3 Avaliação da temperatura aproximada de incêndios.....	188
12. Combustão de Combustíveis Líquidos, Pirólise e Decomposição de Líquidos.....	194
12.1 Combustão de combustíveis líquidos.....	194
12.2 Pirólise e decomposição de líquidos.....	196
13. Combustíveis Sólidos.....	198
13.1 Pirólise.....	198
13.2 Madeira.....	201
13.3 Papel.....	204
13.4 Plásticos.....	205
13.5 Tintas.....	206
13.6 Carvão.....	207
13.7 Borracha.....	208
13.8 Cereais.....	209
13.9 Produtos da combustão de combustíveis sólidos.....	210
14. Fontes de Ignição.....	212
14.1 Fontes de ignição primárias.....	213
14.2 Fontes secundárias de ignição.....	217

15. Combustão Espontânea.....	221
15.1 Combustão Espontânea.....	221

Capítulo 1 – Histórico de Fogo

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar as principais características das teorias de Heráclito, Empédocles e Aristóteles, de acordo com a lição;
- 2) Explicar, com suas palavras, o que era a teoria do flogístico, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Citar duas contribuições dadas pelo cientista francês Antoine Laurent de Lavoisier à Ciência do Fogo, de acordo com o que foi repassado na lição.

1 Histórico do Fogo¹⁵

O fogo foi sempre uma das preocupações da humanidade e o seu estudo ajudou a modelar o próprio desenvolvimento da ciência. O homem primitivo só conhecia o fogo em incêndios de florestas, concebendo-o como um segredo dos deuses. Os gregos contavam que o herói Prometeu roubou o fogo de Zeus para devolvê-lo aos homens. Há pouco tempo, aprendemos a reproduzir e a dominar o fogo (70 mil anos), e a sua conquista foi tão importante para a humanidade que quase todos os povos, inclusive os indígenas, têm uma história de desenvolvimento semelhante, em função do progresso que fizeram no domínio do fogo. O calor liberado na queima dos combustíveis foi a fonte fundamental de energia dos povos primitivos. Tempos se passaram até que o fogo, embora utilizado diariamente, tivesse a sua natureza conhecida. Diversas culturas concebiam explicações diferentes para o fogo. Para algumas, o fogo era uma dádiva dos deuses. Os astecas tinham Xuihtecuhtli o senhor do fogo.

Desde que o homem pré-histórico levou uma tocha acesa para sua caverna, descobriu que o fogo era um aliado que o acompanharia séculos afora. Aos poucos, foi descobrindo a sua utilidade para iluminar a escuridão, afugentar animais, cozinhar alimentos e vencer o frio. Porém houve um dia em que o fogo tornou-se incontrolável, surgindo então o primeiro incêndio, revelando a atônitos olhares e mentes ignaras o lado perigoso do fogo, os seus efeitos destruidores, a capacidade de causar ferimentos, daí a

¹⁵O texto foi reproduzido na íntegra do livro Incêndios e Explosivos – Uma introdução à engenharia forense. Todos os créditos, então, vão ao pioneiro autor.

necessidade de controlá-lo. Por isso mesmo, alguns pensadores acreditam que o primeiro trabalho científico de nossos ancestrais consistiu, exatamente, em melhor conhecer e dominar o fogo, muito embora atribuíssem a sua origem a divindades.

No século 5 a.C, na Grécia, os filósofos começaram a buscar explicações para os fatos não mais na ação dos deuses, mas na própria natureza. Numa dessas teorias, **Heráclito** supôs ser o fogo a base de tudo o que existia. **Empédocles**, na chamada **teoria dos quatro elementos**, dizia que todas as substâncias eram formadas por terra, ar, água e fogo, combinados em diferentes proporções. Raciocinava, por exemplo, que um pedaço de madeira contém terra porque é sólido e pesado; contém água porque, ao ser aquecido, desprende água; ar porque emite fumaça, e fogo porque contém chamas. Acrescentando o quinto elemento, no século IV a.C, **Aristóteles**, filósofo de grande influência, complementou a teoria dos quatro elementos, defendendo a propositura de que qualquer um daqueles elementos poderia ser transformado em outro, já que os quatro elementos eram constituídos de algo em comum, o éter.

Inobstante a **teoria dos átomos** combinada com a dos elementos, desenvolvidas por **Demócrito**, o pensamento de Aristóteles, que não acreditava em átomos, tornou-se ainda mais influente ao longo dos 2 mil anos seguintes, e suas ideias sobre os elementos acabaram prevalecendo por todo esse tempo. Com isso, a visão aristotélica atrasou o desenvolvimento da física e da química, agravada ainda pela falta de experimentação dos gregos, não só devido à ausência de adequados recursos técnicos posteriormente desenvolvidos, mas, sobretudo, **pela supervalorização das atividades mentais em detrimento das atividades manuais**, exclusividade dos escravos.

Felizmente, a ciência, de forma paralela ao progresso da humanidade, também se desenvolveu, jogando por terra o ideário grego. Construíram-se monumentais edifícios, porém sem nenhuma firmeza. A ciência moderna nasceu por volta do século XVI com a Renascença, a partir da qual se estabeleceu a necessidade de adotar-se o saber humano de rigorosa certeza. No século XVII, **Robert Boyle**, físico e químico inglês, considerado por muitos, **iniciador da química moderna**, conseguiu a sistematização do conhecimento químico sobre muitas substâncias e elementos a partir da acumulação de fatos experimentais dos quais estabelecia generalizações, valendo-se do método indutivo, proposto por **Bacon**, até hoje empregado nas ciências experimentais.

Reportando-se à história, verifica-se que o progresso das ciências coincide com os acontecimentos marcantes da humanidade, bem assim com a evolução do pensamento, patenteando a contribuição da filosofia para esse desiderato, às vezes ignorada ou

indevidamente menosprezada, nas transformações que assinalaram os progressos da civilização moderna em suas várias fases. Tanto é assim que **Francis Bacon** (1560-1626), político e filósofo inglês, grande chanceler, barão de Verulam e conde de Sant Albans, transformou completamente a lógica, ao desenvolver o princípio da indução, raciocínio pelo qual se passa de proposições menos gerais para uma outra mais geral, fundamentada na experiência, criando o método científico.

Bem mais tarde, para justificar o fato experimental de que muitas substâncias tinham sua massa reduzida ao queimar, o químico alemão **George Ernest Stahl** (1660-1734) propôs a **teoria do flogístico** (do grego phlogistos) ou fogo princípio, uma substância fluida que fazia parte do material original e que escaparia durante a combustão.

A **teoria do flogístico** entretinha muitos pensadores, foi útil para explicar as reações químicas, ajustando-se perfeitamente aos fatos conhecidos na época, razão pela qual foi referendada pela comunidade científica até 1774, quando o sábio francês **Antoine Laurent de Lavoisier** (1743-1794) provou que ela estava errada ao anunciar a lei da conservação da massa, relativa às reações químicas, segundo a qual, numa reação química, não ocorre alteração da massa do sistema, donde, através de experimentos relativamente simples, demonstrou que o fogo era consequência de uma reação química de combustão.

Assim, foi demolida a teoria do flogístico. Foi ainda **Lavoisier** quem batizou de oxigênio o gás fundamental à combustão, descoberto no mesmo ano de 1774 por **Joseph Priestley** (1733-1809), ao verificar que o gás intensificava a chama de uma vela, precedido por outro inglês, **Robert Hooke** (1653-1703), que em 1665 descobriu que havia algo no ar essencial à combustão.

Desde as primitivas cavernas, passando pelos gregos e romanos, que, entre outras aplicações, aqueciam os pisos de suas casas, tendo estes criado um sofisticado sistema de aquecimento de pisos denominado hipocausto, o fogo continua sendo uma necessidade imperiosa da civilização moderna, fazendo parte do nosso cotidiano, seja na indústria, nas moradias, no campo ou nas cidades, vez por outra escapando do controle do homem ou aparecendo em lugar não desejado, dando origem aos incêndios, responsáveis por vultosos prejuízos materiais e, mais lamentavelmente, pelo ceifamento de vidas humanas.

O problema dos incêndios é encarado com tanta seriedade que, em alguns países de vanguarda, existem programas de educação sobre o fogo, nas escolas.

Capítulo 2 – Perícia de Incêndio em Santa Catarina

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar qual foi a escola de formação dos primeiros peritos de incêndio catarinenses;
- 2) Explicar, com as próprias palavras, qual foi a primeira ocorrência onde um perito de incêndio catarinense atuou;
- 3) Diferenciar, com suas palavras, Perito de Incêndio e Inspetor de Incêndio, de acordo com o repassado na lição.

2 Histórico da investigação de incêndio em Santa Catarina

O ano que fez história para o Corpo de Bombeiros Catarinense no quesito de investigação de incêndios foi o de 1979. Cardoso (2014) traz que, no referido ano, o então Comandante do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Santa Catarina (CBPMSC), Tenente Coronel Pacheco, no intuito de ampliar as atividades executadas pelo Centro de Atividades Técnicas (CAT), enviou ao Corpo de Bombeiros do Distrito Federal os primeiros oficiais catarinenses para que fizessem o Curso de Perícia de Incêndio. Os escolhidos foram o Capitão Ulisses Kuntze e o 1º Tenente Luiz Antônio Cardoso.

Segundo Cardoso (2014) o objetivo dessa especialização dos integrantes do CAT era de melhorar as atividades preventivas, detectar e corrigir procedimentos incorretos de combate a incêndio e na preservação de locais de sinistros. Cardoso (2014, p. 102) faz a analogia de que as atividades periciais eram o “espelho retrovisor” que possibilitava avaliar o desempenho das atividades preventivas e operacionais de combate a incêndio.

Ainda sobre a importância e os objetivos da perícia de incêndio, continua Cardoso (2014, p. 102):

Servia para avaliar a adequabilidade e funcionalidade dos sistemas preventivos dimensionados para as edificações e os riscos que elas reuniam. Serviam também para avaliar o desempenho operacional das guarnições em ações de combate a incêndios e nos cuidados na preservação dos locais sinistrados. Manter o estado do local visava deixá-los idôneos para os trabalhos de perícia, possibilitando a investigação das evidências e provas existentes.

Cardoso (2014) conta que o primeiro laudo pericial elaborado pelos primeiros peritos do CAT foi o de uma ocorrência envolvendo a explosão de um volume de Gás

Liquefeito de Petróleo (GLP). Era uma manhã de domingo em janeiro de 1980, por volta das 10 horas. A ocorrência foi atendida pelo Chefe do Socorro¹⁶ 1º Tenente Norival de Lorenzi Cancelier. As primeiras providências para a perícia no local, no entanto, foram as realizadas pelo então Capitão Luiz Antônio Cardoso.

Continua Cardoso (2014) contando que a explosão aconteceu em uma quitinete do 10º andar do edifício Canadá, localizado na Rua Marechal Guilherme, no centro de Florianópolis. Por meio da investigação da cena, constatou-se que a explosão decorreu de uma Ação Pessoal Acidental quando da utilização descuidada de um fogão à gás.

Cardoso (2014) relata que a onda de choque provocada pela explosão projetou pedaços de alvenaria no interior e para o exterior da edificação. Tais fragmentos causaram ferimentos em uma moradora da unidade residencial e danos materiais extensos no prédio, em uma casa vizinha ao edifício e a veículos estacionados ao longo da via pública.

Após a formação destes pioneiros no estudo e na investigação de sinistros, outros também foram enviados à academia do CBMDF para que voltassem com a titulação de Perito de Incêndio – que além de atribuições de execução da atividade, também necessita coordenar e gerenciar as atividades no batalhão onde estiver lotado -, totalizando um total de dez militares habilitados na corporação. Segundo Sarte (2009, p.33) são eles:

- 2º Ten PMSC Anselmo Souza (1982)
- 1º Ten PMSC João Duarte Vidal (1986)
- Maj PMSC Luiz Antônio Cardoso – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC João Duarte Vidal – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC Álvaro Maus (1992)
- 1º Ten PMSC Cláudio Gomes (1992)
- 2º Ten PMSC Charles Fabiano Acordi (1998)
- 1º Ten PMSC Luiz Henrique Kirch (2000)
- 1º Ten PMSC Edson Luiz Biluk (2002)
- 1º Ten PMSC Vanderlei Vanderlino Vidal (2002)

Destes dez peritos, somente continuam na ativa quatro: Tenente-Coronel Biluk, Tenente-Coronel Henrique, Tenente-Coronel Vanderlino e Major Charles. Sendo que dois

¹⁶Chefe de Socorro é como é denominado o comandante da guarnição de serviço de determinado dia. Geralmente é um Sargento.

deles já se encontram em vias de passar para a reserva remunerada (Tenente-Coronel Biluk e Tenente-Coronel Henrique).

De acordo com Sarte (2009, p. 33), em vista da escassez de oficiais peritos formados, dos custos de enviar um militar para habilitar-se em Brasília – uma vez que o curso de formação possui duração aproximada de seis meses e há direito de diárias para o aluno – e da impossibilidade de enviar um perito para cada ocorrência de incêndio no estado, o CBMSC tomou a decisão de preparar seus praças (Subtenentes, Sargentos, Cabos e Soldados) para realizarem investigações de incêndio e produzirem Informes Periciais, os quais são supervisionados por peritos.

Esta capacitação se dá por meio do Curso de Inspetores de Incêndio nível I, com carga horária aproximada de 60 horas/aula.

O Informe Pericial que é elaborado pelos Inspetores de Incêndio tem, segundo Vidal (2007, p. 21), “a finalidade de estudos internos para a Corporação, mas poderá ser tornado público, mediante solicitação de autoridade policial, judicial ou do proprietário ou responsável pela edificação, mas nesse caso, o documento passará pelo crivo de um Perito de Incêndios”.

Os Inspetores atuam logo após toda e qualquer ocorrência de incêndio em edificações, com vistas a identificar todas as informações disponíveis no local do sinistro. De modo a proteger os Inspetores de determinados questionamentos legais, o Comando Geral, por meio da Diretriz de Procedimento Operacional Padrão (POP) Nr 24 – CmdoG, dita que:

[...]

8) efetuar a comunicação da ocorrência de incêndio ou explosão em edificação à Delegacia de Polícia Civil da circunscrição da ocorrência, podendo fazê-lo de forma verbal e mesmo por telefone, registrando-se, obrigatoriamente, no relatório de ocorrência (E-193), o nome do servidor comunicado;

9) qualquer ocorrência de incêndio e/ou explosão em edificação, sempre que houver vítima fatal, além de comunicar à Delegacia de Polícia Civil, deve comunicar a equipe do IGP e aguardar a sua chegada, iniciando os trabalhos de investigação com a presença desta equipe;

10) nas ocorrências de incêndio e/ou explosão em edificação, que houver, de pronto, evidências de ação humana direta, ou mesmo do incêndio ocorrer vítimas não fatais, verificar junto ao IGP se os mesmos realizarão investigação no local; caso positivo, aguardar e realizar a investigação de forma conjunta, de maneira a não descaracterizar o local; caso negativo, prosseguir com a investigação;

[...]

12) se durante os trabalhos de investigação do local do sinistro, forem encontradas evidências de ação humana direta, interrompe-se os trabalhos e comunica-se de imediato ao perito de incêndio do BBM, ou outro oficial designado para esta função e à Delegacia de Polícia Civil e ao IGP, para conforme a intenção da Polícia Civil ou do IGP, procedam o acompanhamento da investigação de incêndio a ser desenvolvida pelo Corpo de Bombeiros Militar, ou realizem conjuntamente os trabalhos periciais;

13) ainda que durante os trabalhos de investigação, não sejam levantadas evidências imediatas, mas que ao final, conclua-se como causa do incêndio ação humana direta e o IGP não tenha realizado a perícia, encaminha-se de imediato, cópia do laudo ou informe pericial ao Delegado de Polícia da Comarca, juntamente com as provas levantadas;

O ano de 2015 será um ano que entrará para história da investigação de incêndio em Santa Catarina, da mesma maneira como o foi o ano de 1979. Isso se deve ao fato de que em 2015 será ministrado o primeiro Curso de Perícia de Incêndio no estado catarinense.

O curso terá aproximadamente 400 horas/aula, sendo que 30 horas são dedicadas ao estudo da Ciência do Fogo. O curso tem previsão de início para o mês de setembro de 2015.

Capítulo 3 – A Química E Os Incêndios: Conceitos Importantes

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Diferenciar, com suas palavras, átomo e elemento químico, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Apresentar pelo menos cinco características distintas dos hidrocarbonetos, dos alcoóis e das cetonas, de acordo com o repassado na lição;
- 3) Demonstrar corretamente o balanceamento de uma equação química, de acordo com o demonstrado;
- 4) Explicar, com suas palavras, o que é a lei zero da termodinâmica e o que é a primeira lei da termodinâmica, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 5) Diferenciar entalpia, calor específico e calor latente, de acordo com o repassado na lição e, ainda, aplicar corretamente a Lei de Hess em um exercício prático;
- 6) Citar em que condições um gás pode ser considerado ideal e qual é a equação dos gases ideais, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 7) Citar pelo menos dois fatores que influenciam a velocidade de uma reação química, de acordo com àqueles que foram repassados na lição;
- 8) Conceituar, com suas palavras, o que é Carga de Incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição.

3 A química e os incêndios: conceitos importantes

Aqui começa, de fato, nosso estudo sobre a Ciência do Fogo. Após um breve histórico do estudo do fogo e da perícia de incêndio em Santa Catarina, vamos apresentar agora alguns conceitos de química que servirão como fundação para os conhecimentos que serão construídos nos capítulos posteriores.

Mas o que é química? Com certeza todos conseguem explicar com suas palavras, de maneira até um pouco empírica, o que é e do que se ocupa esta ciência. Mas como padronização adotar-se-á a partir de agora a definição trazida por Russel (2004, p. 2) que diz que: “A **química** estuda a natureza, as propriedades, a composição e as transformações da matéria”.

Ela não é maneira alguma uma ciência isolada. Está interligada com a matemática, com a física, com as engenharias, com a biologia, com a medicina, com a farmácia, com a

astronomia, com a geologia e com as áreas forenses, só para citar alguns. E é esta fascinante matéria que você estará estudando nas próximas páginas.

3.1 Átomos e Elementos Químicos

Madeira, metais, plásticos, papel e concreto. Dentro de condições normais toda matéria é constituída de elementos químicos ou uma combinação de elementos químicos chamados **compostos**. De acordo com Dehaan (2012, p. 20) um elemento é “uma substância que não pode ser decomposta em substâncias mais simples por tratamentos químicos ou físicos”. Já Russell (2004, p. 10) conceitua um elemento como “uma substância simples, fundamental e *elementar*”.

Os autores trazem com palavras ligeiramente diferentes o que se pode resumir da seguinte forma: um elemento químico é aquele que não pode ser tornado mais simples. Pode-se citar como elementos o oxigênio, o sódio, o cloro, o argônio e todos os outros contemplados na tabela periódica.

De acordo com Russell (2004), todos os elementos são constituídos de unidades ainda menores, chamadas **átomos**. Todos os átomos de um mesmo elemento químico são iguais no que tange ao tamanho, peso e as propriedades químicas. No entanto, átomos de elementos químicos diferentes também serão diferentes.

Hoje sabe-se que o átomo não é indivisível e a ciência já demonstrou que os átomos são compostos de partículas ainda menores como os *quarks* e os *léptons*, mas em uma situação de incêndio não haverá energia suficiente para quebrar o átomo, sendo assim, nos estudos da ciência do fogo não há necessidade de aprofundar o estudo do microscópico mais fundo do que isso.

Os átomos dos mais diferentes elementos podem ser combinados para formar **moléculas**. Dehaan (2012, p. 20) define molécula como “a menor unidade de um elemento ou composto que mantém as características químicas da substância original”. Como um exemplo podemos citar o elemento oxigênio. Muito embora ele até seja encontrado isolado na forma de O, ele “prefere” combinar-se com outros átomos de oxigênio para formar a molécula diatômica O₂.

Cabe ressaltar que, para os estudos que iremos desenvolver aqui, é suficiente pensar que os átomos são compostos de uma parte positiva chamada *próton*, uma parte sem carga denominada *nêutron* e várias cargas negativas em uma nuvem, conhecidas como *elétrons*.

Já os **compostos**, como bem define Russell (2004, p. 10), “são constituídos de dois ou mais elementos combinados em uma *relação definida*, e, assim, são substâncias mais complexas do que os **elementos**. Os exemplos dos compostos são muitos: o sal de cozinha (cloreto de sódio) é composto de elementos de sódio e cloro; a água é composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio; o gás carbônico é composto de um átomo de carbono e dois de oxigênio.

Uma diferença fundamental dos **elementos** é que os **compostos** podem ser *decompostos* – vale dizer, separados – por processos químicos ou físicos. O cloreto de sódio por exemplo pode ser dissolvido em água e, com o uso de um precipitante específico, separar o cloro do sódio.

3.2 Grupos Químicos de Interesse

A química é subdividida em muitas áreas, e a responsável por estudar o carbono e seus grupos químicos é a **Química Orgânica**. Em incêndios estruturais – com exceção é claro das indústrias de base química – o mais comum é que se encontre substâncias inflamáveis como gasolina, querosene, álcool etílico ou até mesmo a acetona. É sobre estes grupos químicos que estaremos tratando abaixo.

3.1.1 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são, por definição, aqueles compostos que possuem somente átomos de carbono e hidrogênio em sua estrutura. Este grupo ainda é subdividido em: alcanos, alcenos, alcinos e compostos aromáticos.

De acordo com Solomons (2013), as principais fontes de alcanos são o gás natural e o petróleo. Eles são hidrocarbonetos que não possuem ligações múltiplas entre os átomos de carbono e são reconhecidos pela terminação “-ano” no nome de seus compostos. Dois grandes exemplos são o metano e o butano. O metano é o principal componente do gás natural e o butano é o principal componente do GLP.

Os alcenos, segundo Solomons (2013), são o grupo que tem dois dos mais importantes produtos químicos da indústria dos EUA: o eteno e o propeno. O eteno é utilizado como ponto de partida para a produção de muitos outros compostos como o óxido de etileno, o etanal e o polietileno. Já o propeno é usado na fabricação do polipropileno, além de ser base para a síntese da acetona e do cumeno. Os alcenos

possuem pelo menos uma ligação dupla carbono-carbono em sua estrutura e podem ser reconhecidos pela terminação “-eno” em seus nomes.

Os alcinos são aqueles que contém pelo menos uma ligação tripla carbono-carbono e os reconhecemos pela terminação “-ino” em seus compostos. O alquino mais simples – e mais conhecido – é o etino, também conhecido como acetileno, usado em soldas.

Não trataremos dos compostos aromáticos pois sua estrutura faz com que tenham um comportamento diferente dos hidrocarbonetos de cadeia aberta.

Trataremos agora de algumas propriedades deste grupo de forma geral.

Os hidrocarbonetos por serem compostos somente de hidrogênio e carbono não possuem momento de dipolo significativo, sendo, portanto, considerados apolares. Em razão deste fato, os hidrocarbonetos **não são solúveis em água** ou em qualquer outro solvente polar. É de se esperar que se algum hidrocarboneto for utilizado como acelerante em um incêndio, teoricamente será possível colher indícios de seu uso, pois a água utilizada para apagar o fogo não o solvatará.

Os pontos de ebulição crescem a medida que aumenta a cadeia carbônica do composto. Por exemplo, o hexano tem seis carbonos em sua estrutura e um ponto de ebulição de 68 °C. Já o heptano possui sete carbonos em sua estrutura e ponto de ebulição de 98,42 °C.

Abaixo apresentamos uma imagem que mostra os quatro primeiros alcanos, seus radicais e estrutura.

Figura 1: Alcanos

ALCANO	GRUPO ALQUILA	ABREVIÇÃO	ESTRUTURAS EM BASTÃO	MODELO
$\text{CH}_3\text{—H}$ Metano	$\text{CH}_3\text{—}$ Metila	Me-		
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{—H}$ Etano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{—}$ Etila	Et-		
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—H}$ Propano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—}$ Propila	Pr-		
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—H}$ Butano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{—}$ Butila	Bu-		

Fonte: Solomons (2012)

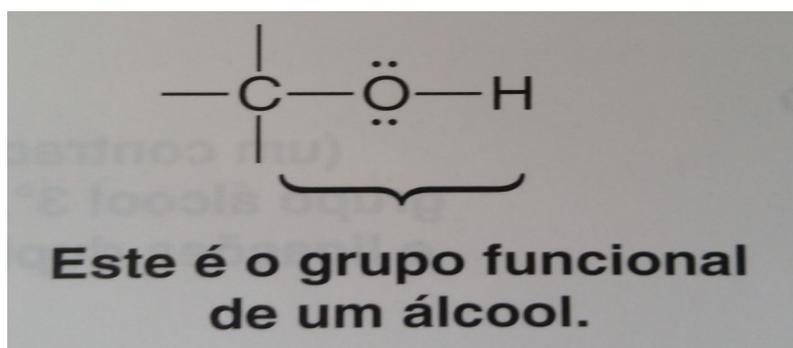
A título de curiosidade, os grupos seguintes, até dez, são: pent-; hex-; hept-; oct-; non-; e dec-. Então um alceno com 6 carbonos se chama **hexeno**, um alcino com oito carbonos se chama **octino** e um alcano com cinco carbonos se chama **pentano**.

Dentre os combustíveis mais comuns encontrados entre os hidrocarbonetos estão o gás de cozinha, a gasolina, o querosene, muitos solventes vendidos tem como base os hidrocarbonetos e o diesel.

3.1.2 Alcoóis

O representante mais conhecido deste grupo químico é sem dúvida o álcool etílico ou etanol, tanto por ser usado como combustível de carros como por ser o álcool que vai nas bebidas alcoólicas. Para que um composto seja considerado um álcool é necessário que a hidroxila (-OH) esteja ligada a um carbono **saturado** – ou seja, com ligação simples.

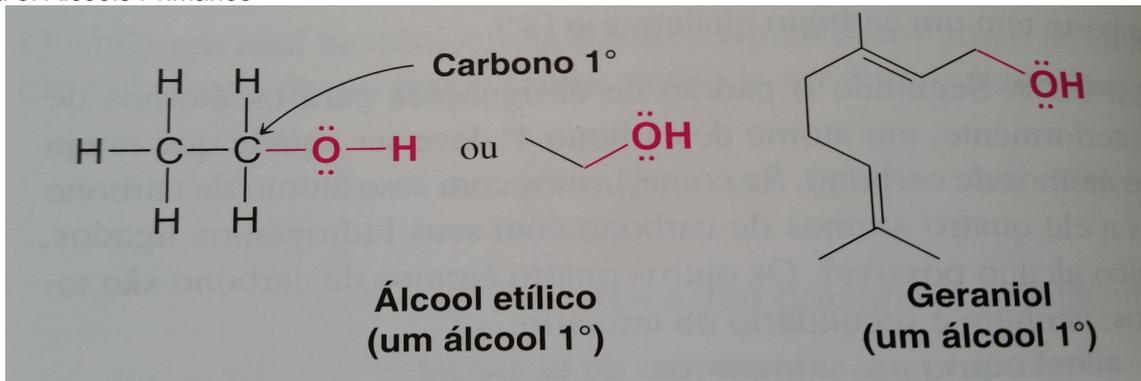
Figura 2: Grupo hidroxila



Fonte: Solomons(2012)

Solomons (2013) classifica os alcoóis de três formas: alcoóis primários; alcoóis secundários e alcoóis terciários. **A classificação se baseia no grau de substituição do carbono no qual o grupo hidroxila está ligado.** Se o carbono possui somente outro carbono ligado a ele, ele é chamado de **carbono primário** e o álcool é também **primário**.

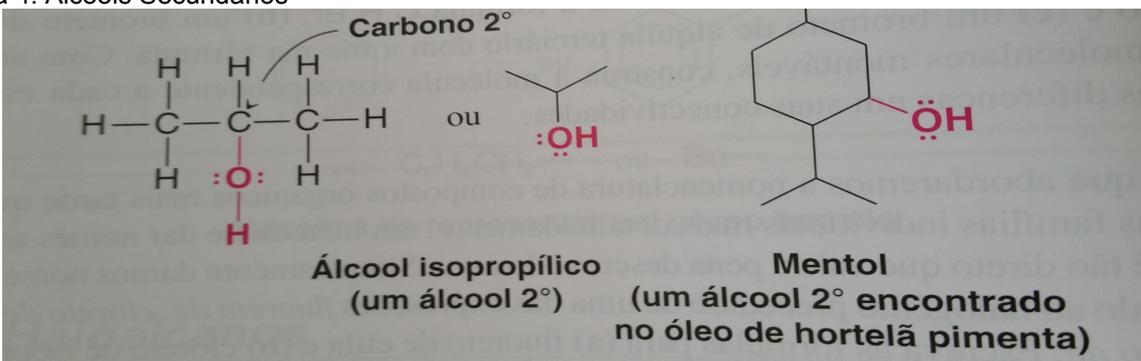
Figura 3: Alcoóis Primários



Fonte: Solomons (2012)

Se o carbono que estiver ligado a hidroxila estiver ligado a outros dois carbonos, então este carbono será **secundário** e o álcool também é **secundário**.

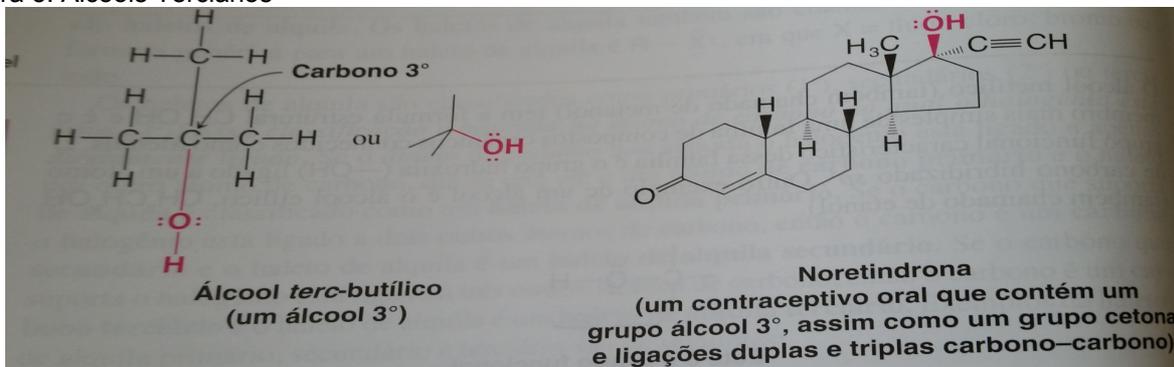
Figura 4: Alcoóis Secundários



Fonte: Solomons (2012)

Finalmente, se o átomo de carbono que está ligado a hidroxila estiver ligado a outros três carbonos, então este carbono será dito **terciário** e o álcool será **terciário**.

Figura 5: Alcoóis Terciários



Fonte: Solomons (2012)

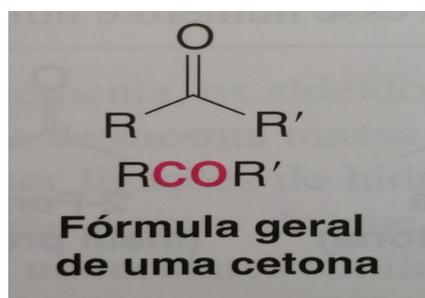
Solomons (2013) explica que os alcoóis possuem pontos de ebulição muito mais elevados que os hidrocarbonetos de peso molecular comparável. Isto deve-se ao fato de serem moléculas **polares** e também, pela presença do grupo hidroxila, conseguirem formar **pontes de hidrogênio** uma ligação molecular muito forte que irá necessitar de considerável energia para ser quebrada.

Os alcoóis de menor peso molecular – metanol, etanol e o álcool terc-butílico – são completamente miscíveis em água. O restante deles possui solubilidade cada vez menor, a medida que aumenta a cadeia carbônica ligada à hidroxila.

3.1.3 Cetonas

As cetonas são outro grupo químico da química orgânica. Enquanto o grupo funcional que dava as características químicas e físicas dos alcoóis era a hidroxila ligada a um carbono saturado, o grupo distintivo das cetonas é o grupo **carbonila** ligado a átomos de carbono em ambos os lados.

Figura 6: Cetonas



Fonte: [Solomons](#) (2012)

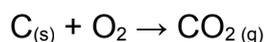
Para nomear as cetonas é muito simples, basta que se pegue o alcano correspondente e se troque o final “-o” por “-ona”. Por exemplo uma cetona com três átomos de carbono teria como correspondente o propano, logo a cetona será a propanona – que também é conhecida como acetona.

Segundo Solomons (2013), o grupo carbonila é **polar**, conseqüentemente possuem pontos de ebulição mais altos que os hidrocarbonetos de massa molecular correspondente. No entanto, ao contrário dos alcoóis, as cetonas **não podem ter ligações de hidrogênio fortes entre as suas próprias moléculas**, logo as cetonas tem ponto de ebulição mais baixo do que alcoóis de peso molecular correspondente.

O átomo de oxigênio presente na carbonila permite que as cetonas formem ligações de hidrogênio com água, assim sendo a acetona e a butanona são muito solúveis em água. A medida que a cadeia carbônica da cetona aumenta, diminui a solubilidade em água.

3.3 Estequiometria

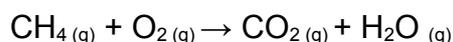
Da mesma forma como os símbolos químicos da tabela periódica representam os elementos – o cloro é representado pela sigla Cl, o potássio por K e o argônio por Ar, só para citar alguns – as equações químicas representam as reações químicas. Para iniciar nosso estudo, apresentamos abaixo a reação de combustão do carbono:



Os termos que estão à esquerda da seta – o carbono e o oxigênio – são os chamados **reagentes**, eles são as substâncias iniciais que irão reagir. A que está à direita – o dióxido de carbono – é o **produto**, é a substância formada durante a reação química. A equação pode ser lida da seguinte forma: “Carbono reage com oxigênio para formar dióxido de carbono” ou ainda “um átomo de carbono reage com uma molécula de oxigênio para formar uma molécula de dióxido de carbono”.

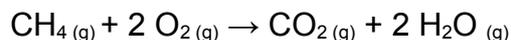
Para trabalharmos corretamente com as equações química elas devem estar **balanceadas**. A reação anterior estava balanceada, uma vez que o princípio da conservação das massas foi aplicado, a massa que iniciamos foi a massa com que terminamos a reação. Veja que no início tínhamos um átomo de carbono, e nos produtos ainda temos um átomo de carbono. Veja ainda que no início tínhamos dois átomos de oxigênio, e no final também temos dois átomos de oxigênio.

Observe agora a reação de combustão do metano, que é um pouco mais complexa que a da queima do carbono:



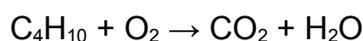
Note que do lado esquerdo da equação temos 4 átomos de hidrogênio, enquanto do lado direito temos apenas dois. Se a equação fosse deixada como está, estaria indicando que durante a reação que de queima do metano dois átomos de H

simplesmente sumiram, uma clara violação ao princípio de que **durante uma reação átomos não podem ser criados nem destruídos**. Para corrigirmos esta situação seria necessário que balanceássemos os reagentes e produtos, de modo que o número de átomos no início fosse igual ao do fim da equação:



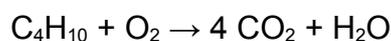
Perceba que agora “a matemática fecha” e temos o mesmo número de átomos de cada elemento no começo e no fim. O método empregado foi o do balanceamento por tentativa, e, apesar do que o nome sugere, é um método simples que irá servir para grande maioria das situações que o perito de incêndio irá deparar-se. Iremos adotar o método ensinado por Russell (2004). Acompanhe o exemplo abaixo:

Exemplo 01: Balanceie a equação da queima do butano abaixo.

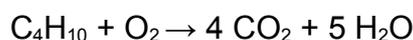


SOLUÇÃO: Uma boa estratégia para iniciar o balanceamento é escolher a fórmula que contém o maior número de átomos ou de elementos diferentes. Neste caso é o próprio butano (C_4H_{10}).

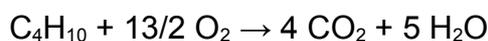
Etapa 01: Primeiro balanceie o carbono. Perceba que do lado esquerdo há quatro átomos de carbono, enquanto do lado direito há apenas um (na molécula de dióxido de carbono). Logo multiplicaremos a molécula de CO_2 por quatro.



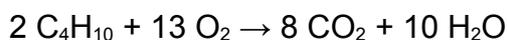
Etapa 02: O carbono está balanceado. Vamos balancear agora o hidrogênio. Do lado esquerdo da equação temos 10 átomos deste elemento, enquanto na direita temos apenas dois. Como corrigir isto? Basta multiplicarmos a molécula de água por 5, resultando em 10 átomos de H no lado direito da equação.



Etapa 03: O único elemento que ainda não foi balanceado foi o oxigênio. Perceba que no lado direito temos dois átomos e na direita temos 13 (8 no dióxido de carbono e 5 na água). O único jeito de balancear esta equação então é inserindo uma fração no lado esquerdo.



Caso seja da preferência do perito, é possível multiplicar toda a equação por 2 de modo a eliminar a fração.



Etapa 05: Para fazer uma prova real que realizamos corretamente o balanceamento, monta-se uma tabela de checagem:

Quadro 1: Checagem de balanceamento

Átomo	Lado Esquerdo	Lado Direito
C	2 x 4 = 8	8
H	2 x 10 = 20	10 x 2 = 20
O	13 x 2 = 26	(8 x 2) + 10 = 26

Fonte: Russell (2004)

Deixamos como sugestão ao leitor realizar agora o balanceamento da combustão do Etanol com oxigênio para formar dióxido de carbono e água. Resposta: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$.

Mas qual a importância de entender a estequiometria das equações químicas? Russell (2004) explica que, entre outras tantas, é mostrar visualmente em que proporções os elementos químicos precisam ser misturados para que a reação possa acontecer. Estas proporções podem ser expressas em quantidades microscópicas - como átomos, moléculas e fórmulas unitárias - ou em quantidades macroscópicas - mols de moléculas, moléculas etc. Recomendamos ao leitor para que trabalhe com o mol.

O mol é uma relação expressa pela equação abaixo

$$n = m/PM$$

Em que n representa o número de mols, m a massa do composto que se está trabalhando e PM é o seu peso molecular (encontrado na tabela periódica). Considere o exemplo abaixo:

Exemplo 02: Calcule o número de mols contidos em 50 gramas de etanol.

Etapa 01: Iniciaremos nosso exemplo calculando o peso molecular do etanol. A fórmula do etanol é C_2H_5OH . O peso do átomo de carbono segundo a tabela periódica é de 12 g/mol; o do hidrogênio é de 1 g/mol e o do oxigênio é de 16 g/mol. Multiplicando estes valores pelo número de átomos na fórmula do etanol temos:

$$(12 \times 2) + (1 \times 6) + (16 \times 1) = 46 \text{ g/mol}$$

Etapa 02: Como já temos a massa, basta colocarmos os dados na fórmula.

$$n = m/PM$$

$$n = 50/46$$

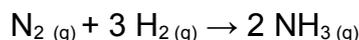
$$n = 1,09 \text{ mols}$$

Na equação química de queima do etanol, pode-se perceber que um mol de etanol necessita de 3 mols de oxigênio para que a reação de combustão aconteça de maneira completa. Além disso, as seguintes relações são feitas:

- a) A queima de 1 mol de etanol gera dois mols de dióxido de carbono;
- b) A queima de 1 mol de etanol gera 3 mols de água;
- c) 2 mols de oxigênio reagem com 1 mol de etanol para formar dois mols dióxido de carbono;
- d) 2 mols de oxigênio reagem com 1 mol de etanol para formar três mols de água.

Estes fatores podem ser utilizados para calcular as quantidades necessárias de reagentes e a quantidade de produto formado em uma determinada equação química. Acompanhe o exemplo abaixo:

Exemplo 03: Na reação



quantos (a) mols de moléculas de H_2 são consumidos e (b) mols de moléculas de NH_3 são formados quando 1,38 mol de moléculas de N_2 reage?

Solução:

(a) Pela equação química percebe-se que um mol de N_2 reage com três mols de H_2 . Logo, para 1,38 mols de N_2 teremos:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de } \text{N}_2 &\rightarrow 3 \text{ mols de } \text{H}_2 \\ 1,38 \text{ mols de } \text{N}_2 &\rightarrow x \text{ mols de } \text{H}_2 \\ x &= 3 \times 1,38 = 4,14 \text{ mols de } \text{H}_2 \end{aligned}$$

A resposta para o primeiro item do exemplo é: 4,14 mols de H_2 são consumidos na reação. Caso quiséssemos saber quantas gramas hidrogênio foram consumidos basta aplicar a fórmula do número de mols:

$$n = m/\text{PM}$$

O peso molecular do H_2 é 2 g/mol, e o número de mols é 4,14. Então:

$$\begin{aligned} 4,14 &= m/2 \\ m &= 8,28 \text{ gramas} \end{aligned}$$

Na reação apresentada no exemplo foram consumidos 8,28 gramas de hidrogênio.

(b) Pela estequiometria da equação, temos que um mol de N_2 forma dois mols de NH_3 . Vamos então calcular o número de mols gerados por 1,38 mols de N_2 , de maneira semelhante ao que fizemos no item anterior:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol de } \text{N}_2 &\rightarrow 2 \text{ mols de } \text{NH}_3 \\ 1,38 \text{ mols de } \text{N}_2 &\rightarrow x \text{ mols de } \text{NH}_3 \end{aligned}$$

$$x = 2 \times 1,38 = 2,76 \text{ mols de NH}_3$$

Caso fosse de nosso interesse saber quantas gramas de amônia foram gerados, basta aplicar a fórmula do número de mols (sabendo que o peso molecular da amônia é 17 g/mol e que o número de mols é 2,76) :

$$2,76 = m/17$$

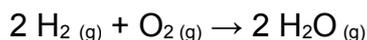
$$m = 46,92 \text{ gramas}$$

Problema sugerido: Na reação



quantos (a) mols de moléculas O_2 são consumidos e (b) mols de moléculas de H_2O são formados quando $4,16 \times 10^{-2}$ mol de moléculas de C_2H_4 reagem? Resposta: (a) $1,25 \times 10^{-1}$ mol de moléculas de O_2 ; (b) $8,32 \times 10^{-2}$ mol de moléculas de H_2O

Em alguns problemas estequiométricos, algum dos reagentes poderá estar com uma quantidade além da estequiométrica, este reagente está em **excesso**. Enquanto que o outro reagente será dito **limitante**. Vamos exemplificar com uma reação para melhor compreensão:



A razão estequiométrica da reação – entre o hidrogênio e o oxigênio – é de 2:1. Se adicionarmos 2,5 mols de H_2 e 1 mol de O_2 e analisarmos a razão estequiométrica, perceber-se-á que somente dois mols de hidrogênio reagirão, ficando 0,5 mols como excesso não reagido. Neste caso o H_2 é o reagente em **excesso** e o O_2 o reagente **limitante**. Neste tipo de reação é importante que leve-se em consideração somente o que está participando da reação.

3.4 Energia, Energia Interna, Temperatura, Calor e Trabalho

Em qualquer reação química a energia está envolvida – mesmo que em ínfimas quantidades. Caso a energia dos produtos seja menor que a dos reagentes, então a reação **libera** energia para o meio e é dita **exotérmica**. Caso a energia dos produtos seja

maior que a dos reagentes, então a reação **absorve** energia e é dita **endotérmica**. Há muitas maneiras pelas quais um sistema pode ganhar energia, nesta seção trataremos sobre o calor e o trabalho.

3.4.1 Temperatura

Não existe um consenso do conceito de temperatura, mas segundo Russell (2004, p. 21) pode-se afirmar que a temperatura “mede a energia cinética média de suas partículas”. Quanto mais estiverem vibrando, maior será a temperatura. E por consequência, quanto menor a vibração, menor será a temperatura. Já Dehaan (2012, p. 43) define temperatura como “uma expressão da quantidade relativa de energia que um corpo possui”. Com base nas duas definições pode-se dizer que temperatura é o grau de agitação térmica do sistema. **É importante que não se confunda temperatura com calor.**

As unidades usadas em temperatura mais comuns são Celsius (°C), Fahrenheit (F), Kelvin (K) e Rankine (°R). A unidade do sistema internacional é Kelvin. As expressões para conversão são:

$$T_C = (T_F - 32) \times 5/9$$

$$T_K = (T_F - 32) \times 5/9 + 273$$

$$T_F = T_C \times (9/5) + 32$$

$$T_R = T_F + 460$$

3.4.2 Calor

Ainda de acordo com Russell (2004, p. 21), **calor** “é uma forma de energia que é diretamente transferida de um objeto mais quente para um mais frio”. Cabe ainda ressaltar que o calor só “é” calor enquanto está em transferência, antes ou depois ele será energia mas em uma forma diferente do calor. Não é correto dizer que um sistema possui “mais calor” quando recebe energia. Por convenção dizemos que o calor que entra no sistema é positivo ($q > 0$) e o que sai é negativo ($q < 0$). Podemos resumir as informações do calor na tabela abaixo:

Quadro 2: Resumo Calor

Processo	Sinal de q	Nome do Processo
O sistema ganha calor	Positivo ($q > 0$)	Endotérmico
O sistema perde calor	Negativo ($q < 0$)	Exotérmico

Fonte: Russell (2004)

O calor também é responsável pelo aumento da taxa da reação de combustão. DeHaan (2012, p. 42) traz a generalização de que a taxa da reação de combustão dobra a cada aumento de 10 °C de temperatura.

Para finalizar esta seção cabe salientar que, apesar do sentido natural da transferência de calor ser do objeto mais quente para o objeto mais frio, é possível fazer com que esta direção se inverta. Mas para que isso aconteça, um custo energético é necessário – é o princípio de funcionamento dos refrigeradores e dos ar condicionados. A unidade do sistema internacional para calor é o Joule (J).

3.4.3 Trabalho

Trabalho pode ser resumido como o movimento contra uma força. Atkins (2001, p. 342) dá alguns exemplos que podem facilitar o entendimento do conceito:

O trabalho é realizado quando um peso é levantado contra a força da gravidade. A reação em uma bateria realiza trabalho quando empurra uma corrente elétrica em um circuito. O gás em um cilindro – talvez uma mistura de gases quentes em um motor de automóvel – realiza trabalho quando empurra o pistão de volta. Podemos identificar um processo que realiza trabalho observando se, ao menos em princípio, pode ser capaz de levantar um peso. A expansão de um gás, por exemplo, pode ser usada para levantar um peso, porque o pistão pode estar conectado com um peso. Uma corrente elétrica produzida por uma bateria pode ser usada para levantar um peso se o circuito inclui um motor elétrico.

O trabalho pode ser feito diretamente sobre o sistema ou as vizinhanças podem fazer trabalho sobre este. Para um sistema hipotético qualquer, trabalho (w) é um número **positivo** quando **as vizinhanças realizam trabalho sobre o sistema** e **negativo** quando **o sistema realiza trabalho sobre as vizinhanças**. Novamente, a tabela abaixo resume as informações apresentadas.

Quadro 3: Resumo Trabalho

Processo	Sinal de w
As vizinhanças realizam trabalho sobre o sistema	Positivo ($w > 0$)

O sistema realiza trabalho sobre as vizinhanças	Negativo ($w < 0$)
---	----------------------

Fonte: Russell (2004)

Segundo Russell (2004) a maneira mais importante pela qual um sistema hipotético pode realizar trabalho é por **expansão**. Para que o sistema se expanda e realize trabalho, é necessário que ele se sobreponha à força de resistência exercida pela vizinhança. Já se o sistema é comprimido, o sistema **sofreu** trabalho.

Quadro 4: Resumo Trabalho

Processo	Trabalho realizado	Sinal de w
Expansão	O sistema realiza trabalho	Negativo ($w < 0$)
Compressão	Trabalho é feito sobre o sistema	Positivo ($w > 0$)

Fonte: Russell (2004)

Os conceitos trazidos nas tabelas acima devem estar bem internalizados pelo aluno, pois se confundidos podem fazer com que vários cálculos termodinâmicos fiquem errados, a começar pela primeira lei da termodinâmica, a qual veremos mais a frente.

3.4.4 Energia Interna

Atkins (2004, p. 343) muito bem define a energia interna dizendo que é “[...] a capacidade total de um sistema realizar trabalho [...]”. No entanto, não é possível medir a energia total de um sistema, somente as variações. Se um sistema realizar, por exemplo, 10 J de trabalho ele terá tido uma diminuição em sua energia interna, uma vez que precisou gastar energia para realizar esta ação. Matematicamente podemos dizer que $\Delta U = -10 \text{ J}$. No entanto se as vizinhas comprimirem o sistema com 10 J, o sistema aumentará sua energia interna, pois “ganhou” energia. Matematicamente escrevemos $\Delta U = +10 \text{ J}$. Resumindo: **a energia interna de um sistema aumenta quando trabalho é realizado sobre ele e diminui quando realiza trabalho.**

A energia interna de um sistema qualquer pode ser alterada também pelo calor. Se um determinado fluxo de calor for repassado para o sistema, então a temperatura irá aumentar e conseqüentemente o seu grau de agitação molecular. Com as moléculas mais “energizadas” é possível que o sistema consiga realizar mais trabalho do que antes de aquecido.

Os conceitos aqui apresentados podem, é claro, ser muito mais aprofundados, mas acreditamos que para a abordagem para a qual esta apostila foi desenvolvida eles são suficientes.

3.5 Lei Zero da Termodinâmica

A lei zero da termodinâmica é muito intuitiva, sendo que provavelmente o leitor pudesse deduzi-la sozinho. No entanto, é importante conhecê-la. Ela é enunciada da seguinte forma: “se dois corpos A e B estão separadamente em **equilíbrio térmico** com um terceiro corpo, T, então A e B estão em equilíbrio entre si”.

3.6 Primeira Lei da Termodinâmica

Como vimos nas seções anteriores, a energia interna de um sistema pode ser aumentada adicionando calor ($q > 0$) ao sistema – aquecendo com um maçarico, por exemplo – ou ainda realizando trabalho sobre ele ($w > 0$) – comprimindo-o com um embolo por exemplo. Por outro lado a energia pode diminuir se retirarmos calor ($q < 0$) do sistema ou permitindo que ele possa realizar trabalho sobre a vizinhança ($w < 0$)

Caso nenhum trabalho esteja sendo realizado, então a energia interna será igual ao calor. Matematicamente

$$\Delta U = q$$

Se trabalho é realizado, mas o sistema está isolado termicamente – vale dizer, não absorve nem libera calor – então a energia interna será igual ao trabalho. Matematicamente

$$\Delta U = w$$

Pode-se generalizar então que, quando calor e trabalho estão envolvidos a modelagem matemática terá a forma de

$$\Delta U = q + w$$

Esta relação é conhecida como a primeira lei da termodinâmica. Sobre esta primeira lei é importante ressaltar ainda o que traz Russell (2004, p. 116) em sua obra:

A primeira lei da termodinâmica é uma definição algébrica da lei de conservação de energia e a pedra fundamental da ciência. Ela simplesmente estabelece que, se a energia de um sistema é acrescida por alguma quantidade, então uma quantidade equivalente de calor ou trabalho deve ser fornecida ao sistema. (Em outras palavras, a energia deve vir de algum lugar). Do mesmo modo, se a energia de um sistema diminui, então a perda de energia não é realmente perdida, ela é gasta como calor ou como trabalho. (Em outras palavras, a energia de um sistema deve ir para algum lugar). A primeira lei é perfeitamente geral, visto que nós podemos classificar todas as formas de energia transferida como calor ou trabalho. (Em alguns casos, quando isto não é conveniente, outros termos são adicionados ao lado direito da relação $\Delta U = q + w$ de maneira a incluir explicitamente outras formas de energia). Por enquanto, consideraremos apenas as maneiras como o calor e o trabalho alteram a energia de um sistema.

Novamente, estamos adotando uma abordagem simplificada da primeira lei da termodinâmica, seu estudo aprofundado por químicos, físicos e engenheiros leva em conta uma série de fatores e apesar da aparente simplicidade da equação os cálculos envolvidos são complexos.

3.7 Entalpia

Como discutido no tópico 3.6, caso nenhum trabalho é realizado sobre ou pelo sistema então a variação da energia interna será igual à energia fornecida ou retirada na forma de calor ($\Delta U = q$). Na grande maioria dos incêndios estruturais que são atendidos pelas guarnições de bombeiro são aquelas em que as transferências de calor são à pressão constante. Imaginando a estrutura em chamas como o sistema em que acontece a reação de combustão, é fácil imaginar que – exceto em raros casos – os gases tem facilidade de expandir-se e contrair-se.

A função de estado que permite ao investigador de incêndios obter informações sobre a variação energética à pressão constante chama-se **Entalpia** (H). Esta palavra provém do alemão *enthalten*, “conter”. A equação da entalpia é

$$H = U + PV$$

Na equação acima H, U, P, V representam a entalpia, a energia interna, a pressão e o volume do sistema, respectivamente. Russell (2004) mostra que, juntamente com a

primeira lei da termodinâmica, **uma variação na entalpia de um sistema é igual ao calor liberado ou absorvido à pressão constante.**

Suponha que uma determinada mudança ocorra em um sistema à pressão constante e que durante a mudança a energia interna varie ΔU e o volume ΔV . Pela equação da entalpia apresentada acima teríamos que

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

Utilizando a equação da primeira lei da termodinâmica na forma $\Delta U = q + w$, teremos

$$\Delta H = q + w + P\Delta V$$

Agora, utilizando a equação do trabalho de expansão ($w = -P_{\text{ext}}\Delta V$) e substituindo acima, teremos

$$\Delta H = q - P_{\text{ext}}\Delta V + P\Delta V$$

Como o sistema é aberto à atmosfera, a pressão é a mesma que a pressão externa – vale dizer, $P_{\text{ext}} = P$ – fazendo com que os dois últimos termos da equação se cancelem e a equação fique na forma

$$\Delta H = q$$

Quando energia é transferida para um sistema à pressão constante na forma de calor, a entalpia do sistema **umenta**. Quando energia deixa um sistema à pressão constante como calor, a entalpia do sistema **diminui**. Por consequência, nas reações endotérmicas teremos $\Delta H > 0$, enquanto que nas exotérmicas $\Delta H < 0$.

Quadro 5: Resumo Entalpia

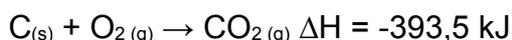
Sentido da energia	Nome do Processo	Sinal de H
Sistema ganha energia	Endotérmico	$\Delta H > 0$
Sistema perde energia	Exotérmico	$\Delta H < 0$

Fonte: Autor

A tabela acima resume as informações pertinentes ao nome do processo, do sinal da entalpia e do sentido da energia.

3.8 Lei de Hess

Segundo Russell (2004), a combinação de uma equação química e de seu valor de ΔH é chamada **equação termoquímica**. O autor exemplifica com a reação de combustão do carvão. Quando 1 mol de carvão é queimado com excesso de oxigênio no ambiente e à pressão constante, então 1 mol de oxigênio será consumido, 1 mol de dióxido de carbono será gerado e 393,5 kJ de calor serão liberados, conforme a equação



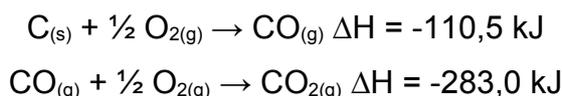
Perceba que o sinal negativo na variação da entalpia indica que esta é uma reação exotérmica. A reação acima pode ser dividida em duas etapas, a primeira sendo o carvão sendo queimado com uma quantidade limitada de oxigênio para formar o monóxido de carbono



Em seguida, o monóxido de carbono é queimado com oxigênio extra, de modo a formar o dióxido de carbono

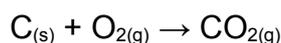


Perceba agora que o resultado líquido das duas últimas equações é igual ao da qual iniciamos nosso exemplo. Ainda, o valor do ΔH inicial é igual ao valor dos dois últimos somados. Isso mostra que as equações “parciais” podem ser somadas como se fossem equações algébricas, tal como mostramos abaixo



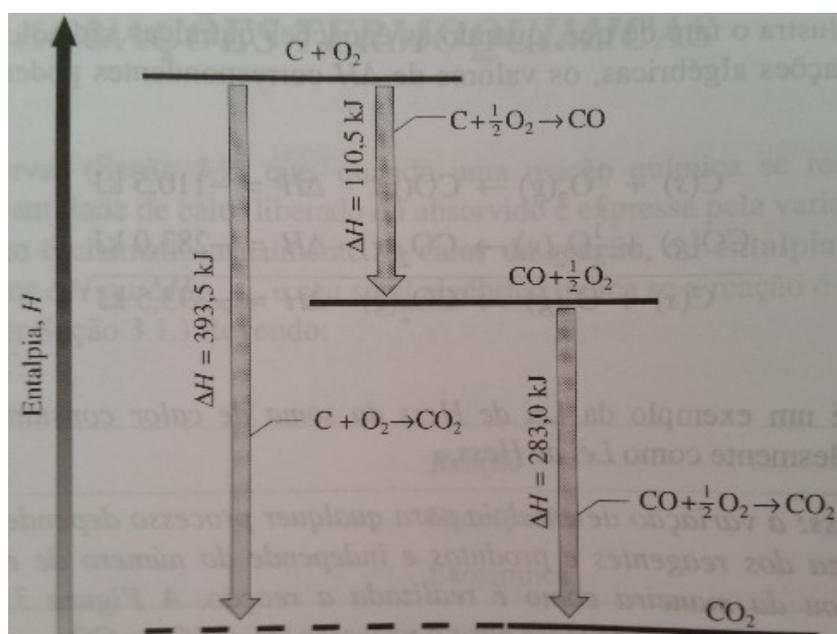
Russell (2004, p.127) define a Lei de Hess como “a variação de entalpia para qualquer processo depende somente da natureza dos reagentes e produtos e independe do número de etapas do processo ou da maneira como é realizada a reação”.

Uma importante consequência da Lei de Hess é que, em vez de necessitarmos de uma enorme lista de todas as possíveis reações e seus correspondentes valores de ΔH , podemos ter uma lista somente de um tipo de reação, a **reação de formação**. Estas são aquelas em que **um mol de um único produto é formado a partir de seus elementos (não-combinados)**. Tomando novamente a reação de combustão do carvão para formar dióxido de carbono, temos que



As reações parciais podem ser apresentadas, ainda, da seguinte forma

Figura 7: Lei de Hess



Fonte: Russell (2004)

Russell (2004) afirma que os valores de ΔH das reações de formação geralmente são tabelados. As substâncias encontram-se em seu **estado padrão** – vale dizer, **na forma mais estável a 1 atmosfera de pressão e 25 °C de temperatura**. O valor tabelado nestas condições é conhecido como **calor padrão de formação ou entalpia padrão de formação** da substância, e sua representação é dada pelo símbolo ΔH°_f . Na tabela abaixo fornecemos os valores de algumas substâncias, sendo que outras podem ser facilmente encontradas em livros de química ou na internet.

Quadro 6: Valores de Calores-padrão de formação a 25 °C

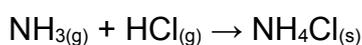
Substância	ΔH°_f , kJ mol ⁻¹
CH _{4(g)}	-74,8

CH ₃ OH _(l)	-239,0
C ₂ H _{2(g)}	226,8
C ₂ H _{4(g)}	52,3
C ₂ H _{6(g)}	-84,6
C ₂ H ₅ OH _(l)	-277,6
CO _(g)	-110,5
CO _{2(g)}	-393,5
HCl _(g)	-92,3
H ₂ O _(g)	-241,8
H ₂ O _(l)	-285,8
H ₂ O _{2(l)}	-187,6
H ₂ S _(g)	-20,6
H ₂ SO _{4(l)}	-814,0
NH _{3(g)}	-46,1
NH ₄ Cl _(s)	-314,4
NaCl _(s)	-410,9
Na ₂ O _(s)	-415,9
NaOH _(s)	-426,7
O _{3(s)}	143
SO _{2(g)}	-296,8
SO _{3(g)}	-395,7

Fonte: Russell (2004)

Perceba que na tabela acima os valores que aparecem são para **compostos**. Isto se deve ao fato de que na formação de um elemento por ele mesmo, por exemplo CO_{2(g)} → CO_{2(g)}, não há qualquer variação, logo o valor deve ser zero ($H_{\text{produtos}} - H_{\text{reagentes}} = 0$). A partir desta explanação pode enunciar uma outra regra da lei de Hess: **a entalpia-padrão de formação de um elemento não combinado é zero**.

Exemplo 04: Calcule o ΔH° a 25 °C para a reação



Solução: Por meio dos valores contidas na Tabela 6, temos que:

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ \text{NH}_3(\text{g}) &= -46,1 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \Delta H_f^\circ \text{HCl}(\text{g}) &= -92,3 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \Delta H_f^\circ \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) &= -314,4 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

O calor padrão da reação será então

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_{\text{reação}} &= \sum(\Delta H_f^\circ)_{\text{produtos}} - \sum(\Delta H_f^\circ)_{\text{reagentes}} \\ \Delta H^\circ_{\text{reação}} &= [-314,4] - [-46,1 + (-92,3)] \\ \Delta H^\circ_{\text{reação}} &= -176 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

Exemplo sugerido: Calcule ΔH° a 25 °C para a reação



3.9 Calor Específico

O calor específico é uma grandeza **física** que denota qual é a variação térmica de uma determinada substância ao receber determinada quantidade de calor. Sua unidade no sistema internacional é J/(kg. K) – joule por quilograma e por kelvin). Mas também é comum encontrarmos em cal/(g.°C) – caloria por grama e por grau celsius).

De acordo com Atkins (2004), há dois tipos de calores específicos: aquele a volume constante C_v e aquele sob pressão constante C_p . O calor específico a pressão constante é geralmente ligeiramente maior do que o a volume constante – sendo que esta regra se aplica aos materiais com coeficientes de dilatação volumétrico positivos. Mas qual a explicação para este fato? Devido ao aumento do volume ocasionado pela dilatação térmica, uma parte da energia que seria usada para esquentar o material é “gasta” para realizar o trabalho de expansão, fazendo com que o aumento de temperatura registrado em um sistema à pressão constante é menor que aquele à volume constante. Já no C_v , todo calor recebido é utilizado no aumento da temperatura do sistema, o que faz com que o calor específico a volume constante seja um pouco menor em relação ao C_p .

O calor específico molar a volume constante é definido matematicamente como

$$\begin{aligned}C_v &= q/n\Delta T \text{ ou} \\ C_v &= \Delta U/n\Delta T\end{aligned}$$

A primeira equação pode ser transformada na segunda porque, de acordo com a primeira lei da termodinâmica $\Delta U = q + w$, e como nenhum trabalho é realizado – uma vez que o sistema encontra-se a volume constante – a equação é simplificada para $\Delta U = q$. Para um gás monoatômico ideal a relação pode ser transformada para

$$C_v = 3/2 R = 12,5 \text{ J/mol/K}$$

O R que aparece na equação acima refere-se a constante dos gases ideais e vale **8,31451 J mol⁻¹**.

O calor específico a pressão constante também é definido como

$$C_p = q/n\Delta T$$

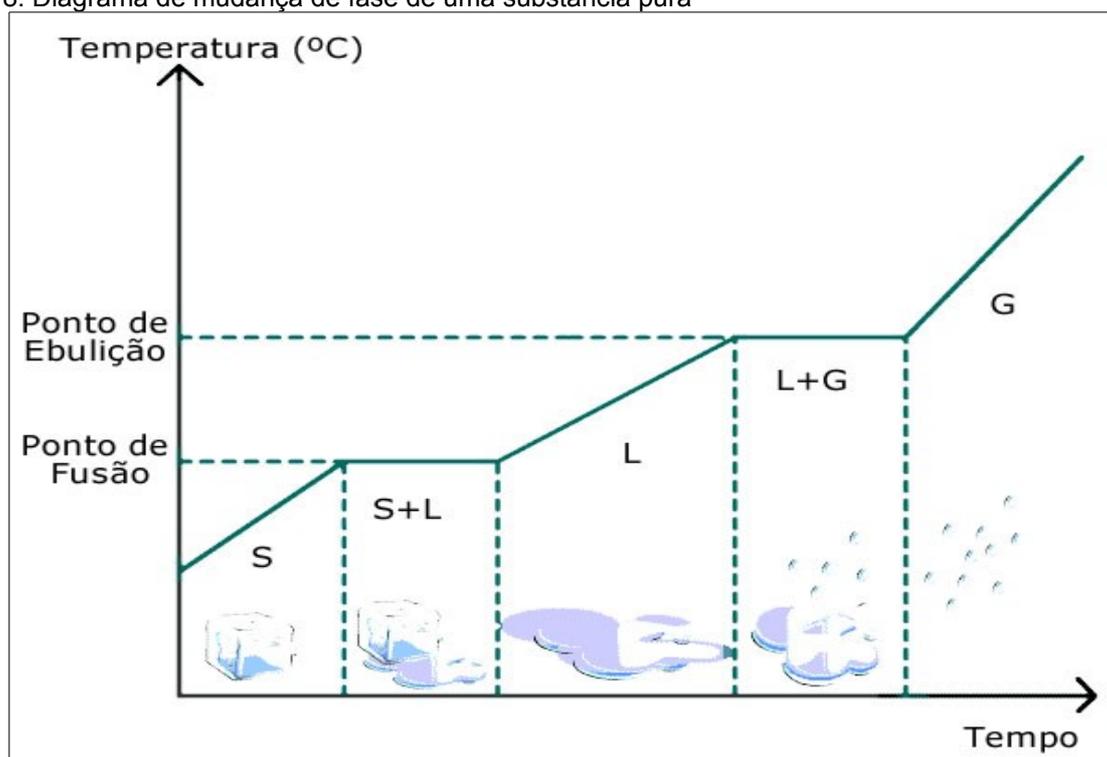
No entanto, aqui o trabalho não será nulo, uma vez que há expansão. Segundo Atkins (2004), como a pressão é constante o trabalho pode ser definido como $W = p\Delta V$. Relacionando esta última equação com a dos gases ideais (que estudaremos em tópico posterior), teremos que $W = nR\Delta T$. Substituindo as equações anteriormente apresentadas mais a equação do calor específico a volume constante na equação $q = U + w$ chega-se, finalmente, a

$$C_p = C_v + R$$

3.10 Calor Latente

Esta propriedade **física** das substâncias está relacionada à quantidade de calor que uma determinada massa de uma substância deve absorver ou liberar para mudar seu estado físico. É importante ressaltar que durante a mudança de fase a temperatura de qualquer substância pura não muda – somente a maneira como os átomos estão dispostos. O calor latente pode ser positivo ou negativo. Note a figura abaixo:

Figura 8: Diagrama de mudança de fase de uma substância pura

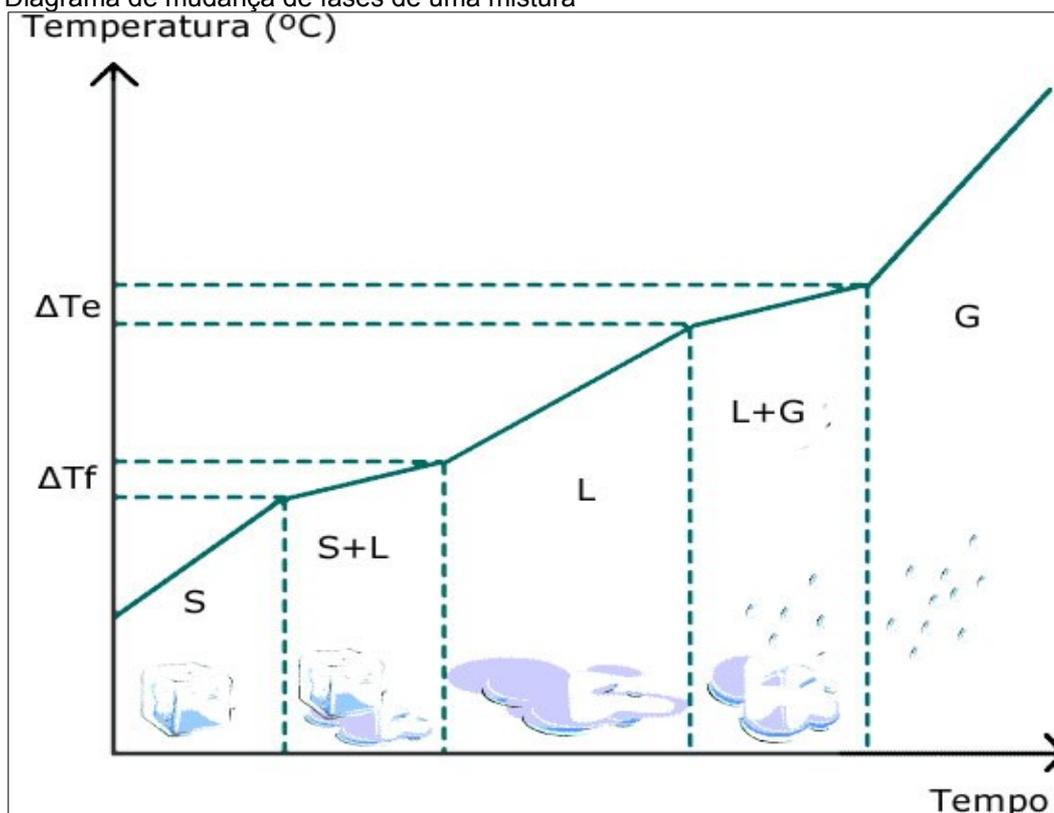


Fonte: Infoescola. . Disponível em:

<<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/10/solidificacao1.jpg>>. Acesso em 24 de agosto 2015.

Perceba que durante a mudança de fase as temperaturas permanecem constantes. No entanto, o caso é diferente quando temos uma mistura, como bem mostra a figura abaixo:

Figura 9: Diagrama de mudança de fases de uma mistura



Fonte: Infoescola. Disponível em:

<<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/10/solidificacao2.jpg>>. Acesso em 24 de agosto de 2015.

Se o valor do calor latente for positivo, isto indica que a substância está recebendo calor, se for negativo ela estará perdendo calor. No sistema internacional a unidade é J/kg – joule por quilograma. Ainda é possível encontrar comumente a unidade cal/g – caloria por grama. A expressão matemática para o cálculo da quantidade de calor necessária para que uma substância mude de fase é muito simples e é definida como

$$Q = mL$$

Em que Q é a quantidade de calor, m é a massa e L é o calor latente. Tabelas de calor latente podem ser encontradas facilmente em publicações de química e em sites da internet.

3.11 Equação dos gases ideais

Segundo Russell (2004) os gases são o estado da matéria mais simples de estudar. Ao contrário dos sólidos e líquidos, os gases tem propriedades semelhantes entre si e é por este motivo que é salutar que se elabore uma modelagem de um gás hipotético, que iremos chamar de **gás ideal**.

De acordo com Russell (2004, p.141) o gás é “[...] uma substância que se expande espontaneamente para preencher completamente seu recipiente de maneira uniforme. Três variáveis são especialmente usadas para descrever o comportamento dos gases: volume (V), pressão (P) e temperatura (T)”.

No estudo dos gases ideais existem duas importantes relações entre essas variáveis, as quais são a Lei de Boyle e a Lei de Charles. A **Lei de Boyle** diz que: “À temperatura constante, o volume ocupado por uma determinada quantidade (número de mols) de um gás é inversamente proporcional à sua pressão”. Matematicamente

$$V = c \ 1/P \ (c \text{ é uma constante de proporcionalidade})$$

O conceito não é difícil de entender. Suponhamos uma determinada quantidade de mols de um gás ideal e à temperatura constante, se **dobrarmos** a pressão, o volume será **dividido ao meio**. Se **triplicarmos** a pressão, o volume transformar-se-á **na terça parte** do que era originalmente. Para calcularmos transformações em um gás usamos a fórmula

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Exemplo 05: Um gás encontra-se à temperatura constante e está a 1 atm de pressão. Seu volume é de 4 m³. Calcule qual será o volume do gás se a pressão for aumentada para 4 atm.

Solução: Com base nos dados que o exercício fornece, temos que

$$1 \times 4 = 4 \times V_2$$

$$V_2 = 1 \text{ m}^3$$

Vista a lei de Boyle, passaremos agora ao estudo da lei de Charles. A **lei de Charles** enuncia que: “A pressão constante, o volume ocupado por uma quantidade de gás é diretamente proporcional a sua temperatura absoluta em Kelvin”. Matematicamente

$$V = d T \text{ (em que } d \text{ é uma constante de proporcionalidade)}$$

Uma das condições para que um gás seja considerado ideal é que ela obedeça à lei de Charles. Em uma transformação utiliza-se a equação abaixo para calcular os valores desejados

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Exemplo 06: Uma amostra de gás ideal ocupa um volume de 1,20 L a 25 °C. Se a temperatura aumenta 50 °C, qual é o novo volume do gás se a pressão permaneceu constante?

Solução: Com base nos dados fornecidos pelo problema, e desde já transformando as temperaturas para a escala kelvin (298 K e 323 K), temos que

$$1,20/298 = V_2/323$$

$$V_2 = 1,30 \text{ litros}$$

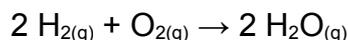
Para calcularmos transformações em gases, podemos ainda utilizar da equação combinada de Boyle e Charles, tal como mostrado abaixo

$$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$$

Antes de apresentarmos a equação dos gases ideais, a qual é o objetivo desta seção, precisamos mostrar ao aluno mais uma lei, a lei de Gay-Lussac da combinação dos volumes: “quando medidos sob as mesmas condições de temperatura e pressão, os volumes dos reagentes e produtos gasosos de uma reação estão na razão de números inteiros e pequenos”.

Por exemplo, sabe-se que quando os gases H_2 e O_2 reagem para formar água no estado gasoso, a relação que se apresenta é de: 2 volumes de hidrogênio + 1 volume de

oxigênio para formar dois volumes de água. Compare agora esta informação com a equação química abaixo



É fácil notar que a relação volumétrica e o número de moléculas é igual. Isto deve-se ao fato que **volumes iguais de gases diferentes contém números iguais de moléculas quando medidos nas mesmas condições de pressão e temperatura**. Russell (2004) afirma que essa “regra” foi primeiro percebida por Avogrado em 1811 e ficou conhecida como **princípio de Avogrado**.

Por meio deste princípio estabelece-se a relação de que em qualquer pressão e temperatura dadas, o volume de uma amostra de qualquer gás é proporcional ao número de mols da molécula.

Finalmente, combinando-se a **lei de Boyle**, **lei de Charles**, e o **princípio de Avogrado** e adicionando-se a constante dos gases ideais têm-se que:

$$PV = nRT$$

A equação acima é conhecida como **lei do gás ideal**. Como já foi mencionado o valor de R depende das unidades utilizadas, as duas mais comuns são 0,0820578 L atm K⁻¹ mol⁻¹ e 8,31451 J mol⁻¹.

Exemplo 07: Suponha que 0,176 mol de um gás ideal ocupa 8,64 litros à pressão de 0,432 atm. Qual a temperatura do gás em graus celsius?

Solução: Aplicando a equação dos gases ideais

$$PV = nRT$$

$$0,432 \times 8,64 = 0,176 \times 0,0821 \times T$$

$$T = 258 \text{ K}$$

$$T = 258 - 273 = -15 \text{ °C}$$

Atkins (2004) alerta que uma das simplificações que permitem criar o gás ideal é a de não há forças intermoleculares agindo e de que o volume ocupado pelas moléculas individuais é desprezível. Como essas condições raramente são satisfeitas na vida real,

desvios da idealidade são observados. A modelagem do gás real foge ao propósito desta apostila, então somente alertaremos o leitor de que **a aproximação do gás ideal torna-se mais ineficiente quando mais baixas forem as temperaturas ou maiores forem as pressões.**

3.12 Cinética Química: fatores que alteram a velocidade de uma reação química

A parte da química que ocupa-se de estudar o modo e a velocidade com que as reações químicas processam-se é a cinética química. Passemos a estudar um pouco de tópicos que serão úteis ao nosso estudo em investigação de incêndios.

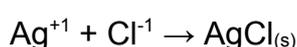
Primeiramente, para que uma reação química ocorra é necessário que os reagentes, sofram colisões fortes o suficiente (e com uma configuração espacial favorável) para que quebrem-se as ligações químicas que mantêm as moléculas originais unidas, permitindo a formação de novas ligações. Estas novas substâncias químicas são os produtos da reação.

Na grande maioria das vezes essas reações não acontecem a temperatura ambiente. É necessário que energia externa seja fornecida para que a “ação” se inicie. Essa quantidade de energia adicionada àquela que a molécula já possui (energia interna) é conhecida como **energia de ativação**.

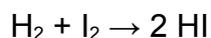
Aragão (2010, p. 92) traz uma explicação bastante clara, a qual reproduzimos abaixo:

A explicação para este fato é que a energia de ativação na forma de calor aumenta a energia cinética média de algumas das moléculas dos reagentes, que, antes de se transformarem nos produtos, passam por um estado intermediário, conhecido por *complexo ativado*. No caso da combustão, a porção que entra em combustão forma o que poderíamos batizar de *germe de combustão ou célula da combustão*.

Agora que já foi feita uma breve introdução sobre o assunto, partiremos para apontar quais são os fatores que afetam a velocidade das reações químicas. Aragão (2010) afirma que o primeiro dos fatores é a **natureza do reagente**. É intuitivo que algumas reações processam-se muito rapidamente e outras não. Isto quer dizer que algumas substâncias são extremamente reativas, enquanto outras “precisam de um empurrãozinho”. Por exemplo a reação de nitrato de prata e cloreto de sódio se dá rapidamente e gera como produto um precipitado de cloreto de prata, conforme a reação



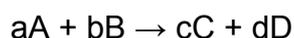
Por outro lado, a reação do hidrogênio com iodo é muito lenta, ainda que aumentemos a temperatura para 425 °C



Aragão (2010) explica que isto deve-se ao fato de que a molécula de HI não pode se formar até que as ligações do hidrogênio e do iodo tenham se quebrado, o que requer energia adicional. Só algumas moléculas de H₂ e I₂ terão velocidade suficiente para que colisões efetivas ocorram e haja a formação de novas ligações químicas. Já a reação de precipitação do cloreto de prata é veloz porque não houve necessidade de quebrar as ligações dos reagentes, uma vez que já se encontravam na forma iônica.

O supracitado autor diz que um outro fator que altera a velocidade da reação é a **temperatura dos reagentes**. Mantendo-se constante todos os outros fatores, a velocidade **da grande maioria** das reações químicas aumenta vertiginosamente com o aumento da temperatura. Como já discutido em tópicos anteriores, o aumento da temperatura gera um aumento na energia cinética das moléculas, o que acarretará em colisões com maiores chances de conseguir quebrar as ligações químicas dos reagentes e formar os novos produtos.

Finalmente, Arago (2010) que se considerar a **concentração dos reagentes**. E o motivo é muito intuitivo. Aumentando-se a concentração dos reagentes, aumenta-se o número de moléculas participando da reação. E da mesma forma com que é mais fácil esbarrar em alguém em uma festa lotada, também é mais fácil para as moléculas colidirem-se se houver mais moléculas para colidir! Este fato é explicado pela lei de Guldberg e Waage, a qual enuncia que, a cada temperatura, a velocidade de uma reação é diretamente proporcional ao produto de uma constante k pelas concentrações molares dos reagentes, elevadas a potências determinadas experimentalmente. Matematicamente



$$v = k [\text{A}]^m \times [\text{B}]^n$$

Também é possível alterar a velocidade de uma reação química, alterando-se a área de contato em que esta reação está acontecendo. É muito mais fácil queimar madeira se ela estiver reduzida em serragem ou aparas do que tentar incendiar o tronco inteiro. Arago (2010) cita a farinha como um outro exemplo: quando está devidamente

armazenada em silos, é improvável que aconteça uma combustão; no entanto, quando estendidos sobre alguma superfície, pode reagir rapidamente com o oxigênio atmosférico e queimar facilmente. Quando em suspensão no ar, podem queimar-se tão rapidamente que algumas vezes acontecem explosões.

Aragão (2010, p. 102) agrupa, de acordo com a **velocidade das combustões**, as seguintes categorias:

- a) Alta velocidade: combustões extraordinariamente velozes, repentinas, que ocorrem de forma praticamente instantânea, normalmente envolvendo toda a massa combustível. Ocorre com os gases e vapores dosados com o ar ou com poeiras orgânicas em suspensão no ar;
- b) Vivas: combustões ditas normais ou comuns, acompanhadas de chamas, que ocorrem em incêndios comuns;
- c) Lentas: são combustões incompletas, que ocorrem em ambientes pobres de oxigênio, onde a emissão de luz é mínima ou inexistente.

Uma discussão mais técnica sobre a velocidade das reações nos mostraria que a velocidade na realidade depende da etapa lenta de cada mecanismo de reação, mas este assunto foge ao escopo a que esta apostila se propõe a realizar.

Capítulo 4 – Tipos de Combustão

Objetivos

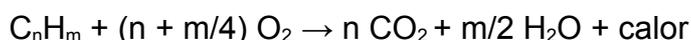
Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar qual o principal produto de uma reação de combustão completa, parcialmente completa e incompleta, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Demonstrar por meio de cálculo de estequiometria a quantidade de dióxido de carbono gerado na queima completa de um mol de etano, de acordo com o que foi lecionado.

4.1 Reação de Combustão Completa

A reação de combustão completa é aquela em que o combustível é completamente consumido na reação e o principal produto, quando o combustível é um hidrocarboneto ou um álcool, é o **dióxido de carbono**. Aragão (2010, p. 88) complementa dizendo que “A combustão diz-se *completa* quando se processa com suficiência estequiométrica de oxigênio, suficiente para oxidar completamente a matéria combustível. No caso dos hidrocarbonetos, a combustão completa levará a formação de vapores: CO₂, N₂, H₂O e SO₂; [...]”.

A reação de combustão completa dos hidrocarbonetos se processa na seguinte lógica



Em que n é o coeficiente estequiométrico do carbono e m o do hidrogênio.

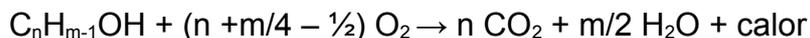
Exemplo 01: Qual será a reação química de combustão do propano?

Solução: O propano tem a fórmula química C₃H₇. Inserindo os valores no esquema apresentado acima, teremos





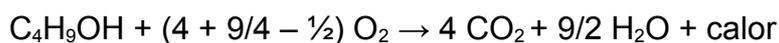
Já para a queima dos alcoóis a “fórmula” para montarmos a equação química terá a forma



Novamente, n é o coeficiente estequiométrico do carbono e m é o coeficiente estequiométrico do hidrogênio diminuído de 1.

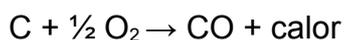
Exemplo 02: Qual será a reação química de combustão do butanol?

Solução: O butanol tem a fórmula química $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$. Inserindo os valores no esquema apresentado acima teremos

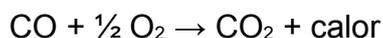


A reação de combustão do carbono, talvez o combustível mais comum em qualquer incêndio, é processada em duas etapas. Elas podem ocorrer automaticamente uma após a outra ou também acontecer com um intervalo de tempo entre cada uma, a depender da disponibilidade de oxigênio no ambiente.

Aragão (2010) aponta que esta propriedade é a responsável pela propagação do fogo e pelo início de focos secundários de incêndio, os quais se verificam pela oxigenação das massas superaquecidas de monóxido de carbono oriundas da primeira etapa da combustão, conforme se verifica abaixo



Quando estas massas encontram uma nova fonte de oxigênio, por exemplo um compartimento ainda não atacado pelo fogo alguns andares acima, a reação se completa com a oxidação do monóxido de carbono



Como demonstrado acima, esta reação gera dióxido de carbono com possibilidade de instalação de focos secundários, sem deixar sinais visíveis de sua ligação com o incêndio andares abaixo, no exemplo proposto.

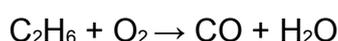
Para finalizar o tópico referente às combustões completas, reproduzimos as palavras de Aragão (2010, p.89):

Em síntese, os produtos da combustão se formam, basicamente, em função do teor de ar participante da combustão, de modo que a combustão completa de hidrocarbonetos produz CO_2 e H_2O ; os materiais nitrogenados produzem o ácido cianídrico. Quando há escassez de ar, formam-se o CO , combustíveis não comburidos e fuligem.

Apesar do exposto, a grande maioria dos incêndios não se processe de maneira completa, e sim **incompleta**. É o que veremos nos próximos tópicos.

4.2 Combustão parcialmente completa

A reação de combustão parcialmente completa não é consenso entre os estudiosos da ciência do fogo e até da química. Alguns dizem que a reação parcialmente completa é na verdade a combustão incompleta. Ela se processa quando não há oxigênio suficiente na queima dos hidrocarbonetos e há geração de monóxido de carbono. Abaixo mostramos a reação de queima parcialmente completa do etano como exemplo

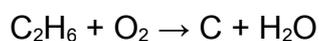


A reação precisa ser balanceada, conforme foi estudado em estequiometria. Ao aplicarmos o balanceamento teremos a equação abaixo

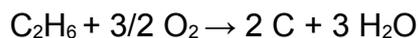


4.3 Combustão Incompleta

A combustão incompleta é aquela que se processa com tal deficiência de oxigênio que C puro é liberado na reação, na forma do *negro de fumo*. A queima incompleta do etano se daria com a seguinte equação química



Balanceando a equação para mantermos a estequiometria teremos



Como ressaltado no tópico anterior, a grande maioria dos autores não leva em consideração a reação de combustão incompleta como mostramos, tratando a diferenciação somente em reação de combustão **completa e incompleta** – sendo a primeira aquela que gera CO_2 e a segunda aquela que gera CO . Aragão (2010) e Dehaan (2012) são desta linha. Mostramos ao leitor as duas abordagens doutrinárias, ficando a cargo de cada investigador utilizar a que ache mais correta.

4.4 Outras reações de combustão

Aqui apresentamos duas equações de combustão as quais não são nem de alcoóis nem de hidrocarbonetos. A reação de combustão do hidrogênio, tem a seguinte fórmula química



O hidrogênio é um combustível poderoso, mas com exceção de incêndios em algumas indústrias e laboratórios, é improvável que o investigador de incêndio encontre o hidrogênio diatômico como fonte combustível em seus serviços rotineiros. Da mesma forma é com o elemento enxofre, que tem a seguinte reação de queima



O enxofre está presente em alguns processos importantes como na vulcanização da borracha e no branqueamento do papel. Assim sendo, pequenas porções de enxofre serão incinerados quando borracha é queimada, por exemplo.

Capítulo 5 – Formas de Transmissão de Calor

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar quais são as três principais formas de transmissão de calor, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar pelo menos um caso prático de cada um dos modos de transmissão de calor em um caso hipotético de incêndio;
- 3) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno de transbordamento, de acordo com o que foi repassado na lição.

Uma parte importante de todo incêndio é a transferência do calor, tanto para o próprio combustível, quanto para a área na qual ele está queimando. O calor é transferido basicamente de três maneiras: por condução, por convecção e por radiação. Todas as três formas estão presentes em incêndios, no entanto a maior ou menor importância de cada um vai variar com a intensidade e o tipo de incêndio como também o combustível que está queimando no ambiente. Trataremos cada uma dessas formas individualmente nos próximos tópicos.

5.1 Condução

Segundo Dehaan (2012), a condução é a transferência de calor através dos materiais por meio do contato do movimento vibracional de suas moléculas. Ele é mais comum nos **materiais sólidos** onde o contato molecular é máximo e a convecção não ocorre apreciavelmente. Como já mencionado quando falamos sobre calor, o fluxo da energia calorífica sempre vai das áreas quentes do sólido para as frias por condução.

Aragão (2010) destaca que a transmissão de calor por condução **não deixa vestígios** característicos, dessa forma é o próprio elemento condutor que deverá levar o perito até o fonte inicial de calor no local.

A taxa com a qual calor é transmitido através de um material por condução é medido em **condutividade térmica** (k) e sua unidade é $W/m.K$. A fórmula para o cálculo da transmissão de calor por condução é modelado pela **Lei de Fourier**.

$$Q = [k.A.(T_2 - T_1)]/l$$

Onde q é a taxa com que o calor está sendo conduzido em kJ/s ou kW, k é condutividade térmica do material, A é a área na qual o calor está sendo conduzido, $(T_2 - T_1)$ é a diferença de temperatura entre a área quente e a área fria e l é o comprimento através do qual o calor está sendo conduzido.

Pela análise da lei de Fourier se percebe que o valor de Q aumenta quando temos uma diferença de temperatura entre a área quente e fria grande, se a área do material é grande ou se o comprimento no qual o calor está sendo conduzido é pequeno.

Dehaan (2012) afirma que a condutividade térmica do material que está sendo aquecido tem um papel fundamental na condução de calor. O valor de k de combustíveis como a madeira, espuma plástica ou papel é muito baixo, o que significa que o calor que é transferido para estes materiais tende a se acumular em um ponto, aumentando a temperatura local, possivelmente até a temperatura de ignição do combustível. Já condutividade térmica em metais é muito grande, o que significa que o calor é rapidamente dissipado por toda a massa do metal, dificultando que a temperatura de ignição do metal seja atingida tão facilmente. Na tabela abaixo mostramos algumas condutividades térmicas

Quadro 7: Condução Térmica de Alguns Materiais

Material	Condutividade Térmica (k)(W/m.K)
Cobre	387
Alumínio	273
Ferro	45,8
Vidro (janelas)	0,76
Tijolo (comum)	0,69
Gesso (gipsita)	0,48
Madeira	0,17
Espuma de Poliuretano	0,034
Algodão	0,06
Ar	0,026
Água	0,60

Fonte: Dehaan (2012)

A próxima tabela utiliza o ferro fundido como um padrão para os outros valores. O valor atribuído para a condutividade térmica do ferro foi de 1.

Quadro 8: Condutividade Térmica de Outros Materiais

Ferro Fundido	1,000
Alumínio	2,337
Aço Doce	0,977
Amianto	0,003
Tijolo	0,007
Concreto	0,012
Vidro	0,016
Cortiça	0,0007
Papel	0,002
Porcelana	0,016
Madeira	0,003
Lã	0,0009
Água	0,01
Ar	0,0003

Fonte: Aragão (2012)

Ambas estão corretas, cabendo ao investigador utilizar a que preferir.

5.2 Convecção

Aragão (2010, p. 139) define a convecção como “[...] a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido por efeito do movimento relativo das suas partículas, movimento esse provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura, e, conseqüentemente, diferença de densidade da massa fluida considerada”.

Já Dehaan (2012, p. 46) define convecção como “[...] a distribuição de calor através de um meio circulante ou a transferência de calor para ou de um meio circulante”.

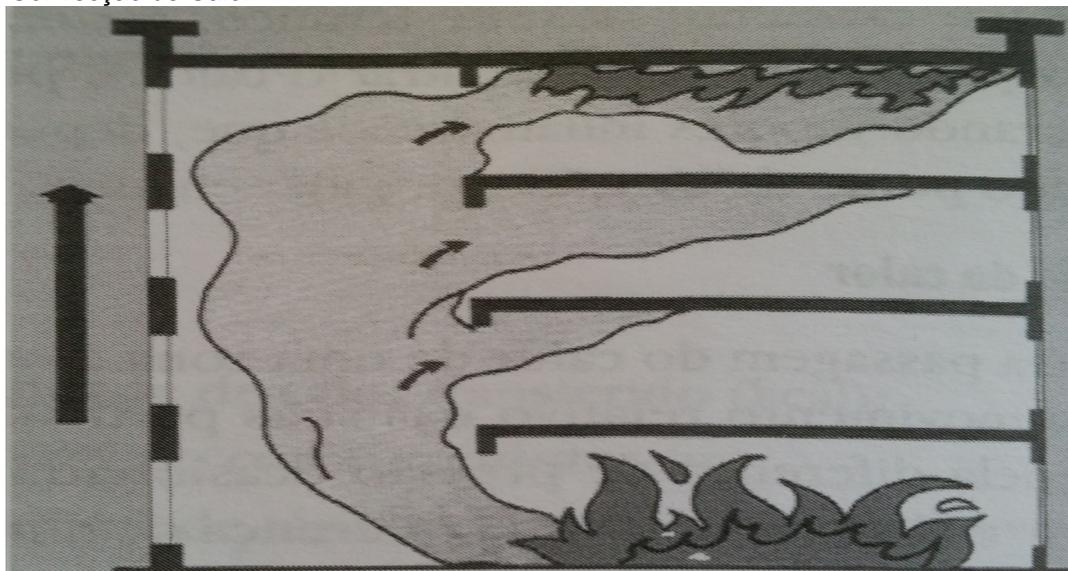
Aragão (2010) divide a convecção em **natural** ou **forçada**, as últimas ocorrendo quando o fenômeno é intensificado mediante agitação artificial.

É importante destacar que a convecção acontece em líquidos, gases e vapores, mas não em sólidos. Em incêndios, é a convecção que leva fumos, fumaça, vapores destilados e gases emanados dos materiais em combustão a níveis mais elevados da edificação ou construção. O autor anteriormente citado as define como **correntes de convecção natural**.

Aragão (2010, p. 139) leciona que “Em consequência da maior temperatura no entorno das chamas, a diferença de densidade induz um escoamento ascendente das

massas gasosas emanadas da combustão, devido às forças de empuxo impostas ao fluido quando a sua densidade diminui nas adjacências das chamas”.

Figura 4: Convecção de Calor



Fonte: Aragão (2010)

A equação matemática que faz a modelagem da transmissão de calor por convecção é proporcional ao tempo de aquecimento, à área que se está aquecendo e à diferença de temperatura entre o fluido e a superfície.

$$Q = h.A.t.(T_2 - T_1)$$

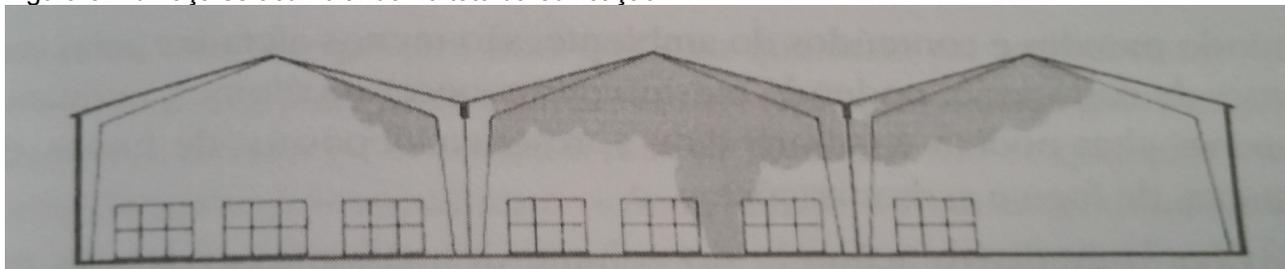
Onde Q é o calor transmitido por convecção em kcal ou kJ, h é o coeficiente de convecção em (kcal/m².h.°C) ou em (kJ/m².s.K), A é a superfície aquecida em m², t é o tempo em horas ou segundos e (T₂ – T₁) é a diferença de temperatura entre o fluido e a superfície receptora em °C ou K.

Mais uma vez aproveitaremos uma das lições de Aragão (2010, p. 140) para demonstrar o papel impactante que esta forma de transmissão de calor tem nos incêndios:

[...] os fumos e os gases quentes tendem a subir do lugar da queima, aquecendo as camadas de ar circundantes, que também sobem por serem mais leves do que as camadas superiores mais frias. Ao ascenderem, também transportam fagulhas e partículas incandescentes da área de queima. À medida que esses gases sólidos aquecidos se deslocam, o ar mais frio se move até o fogo. Com isso, produz correntes que aceleram o processo de convecção, que, por sua vez, vai se acelerando simultaneamente ao aumento da velocidade de combustão.

É por causa das correntes de convecção que é importante que as estruturas tenham uma abertura no teto, caso contrário, é absolutamente previsível que a construção será tão logo tomada pela fumaça e os gases aquecidos.

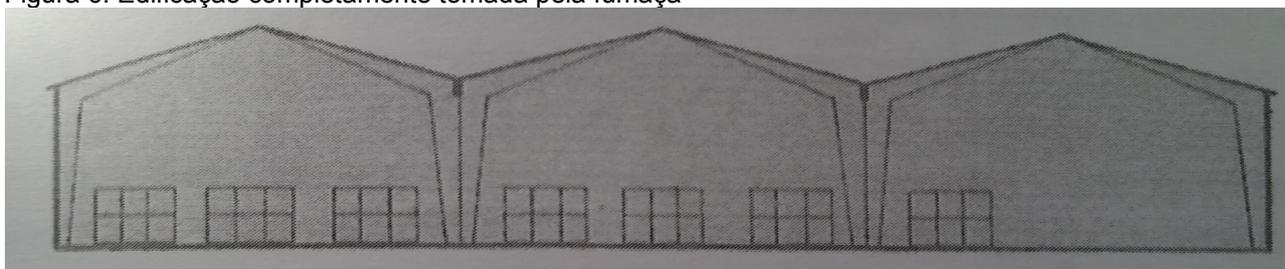
Figura 5: Fumaça se acumulando no teto da edificação



Fonte: Aragão (2010)

Com o passar do tempo, o plano de fumaça e gases no teto, vai começar a baixar em virtude das camadas mais altas já se encontrarem saturadas.

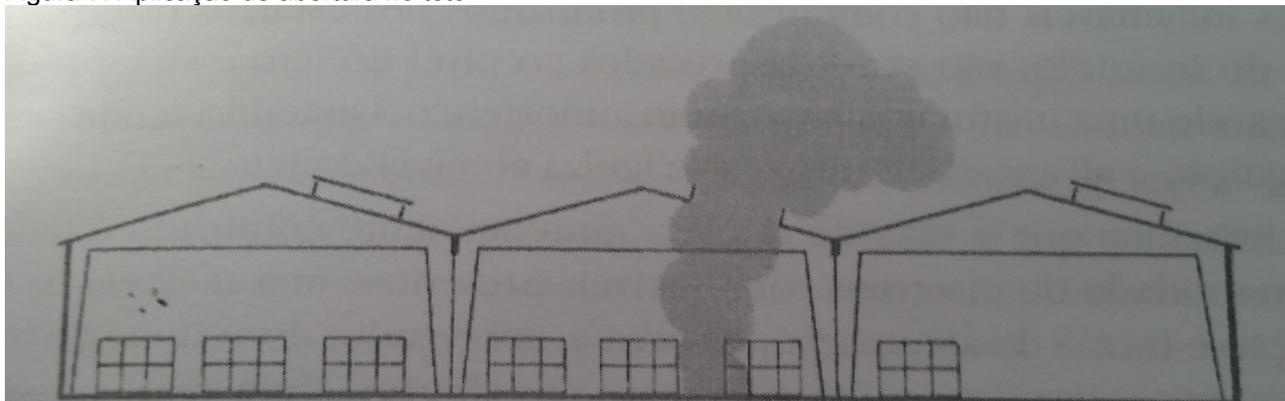
Figura 6: Edificação completamente tomada pela fumaça



Fonte: Aragão (2010)

A utilização de aberturas especialmente projetadas para este fim limita a ocorrência deste fenômeno, uma vez que dão vazão às massas gasosas aquecidas e impedem o seu acúmulo nas edificações.

Figura 7: Aplicação de abertura no teto

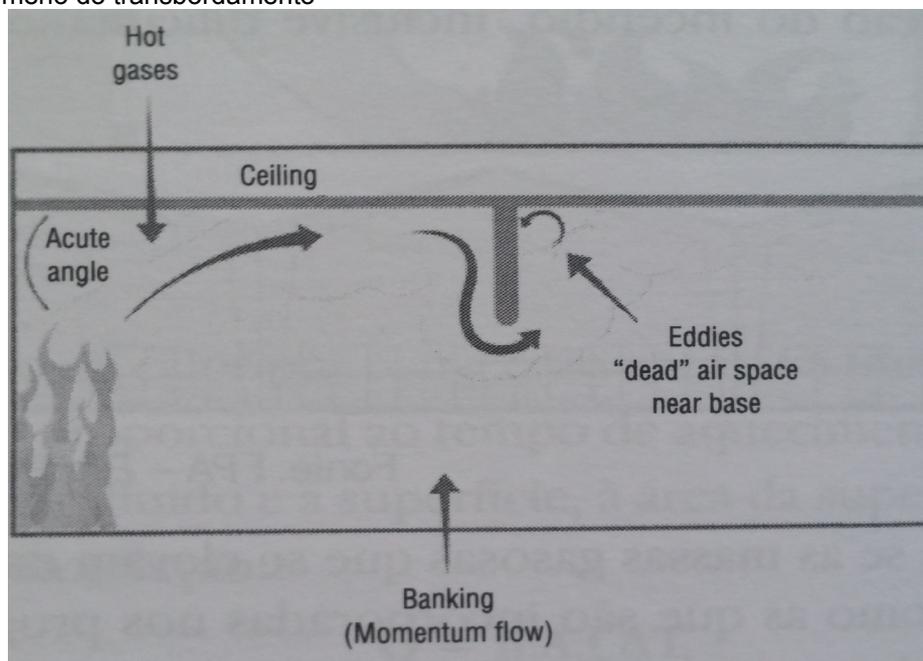


Fonte: Aragão (2010)

Aragão (2010) ainda expõe que é possível que a movimentação horizontal das massas gasosas quentes seja limitada por vigas ou paredes próximas ao teto, fazendo

que com que estes gases acumulem-se até chegar a um ponto em que passarão desses obstáculos, fenômeno conhecido como **transbordamento**.

Figura 8: Fenômeno do transbordamento



Fonte: Aragão (2010)

O supracitado autor ainda menciona o fenômeno conhecido como *rollover*. Este acontece quando gases inflamáveis não comburidos acumulam-se ao nível do teto e se espalham, formando uma mistura com o oxigênio disponível no ar atmosférico. Uma vez sendo alcançada a temperatura de ignição, a mistura de gases inflamáveis e oxigênio se ignizará no teto.

Dehaan (2012, p. 47) cita em seu livro o fenômeno conhecido como **firestorm**¹⁷. Ele acontece principalmente em incêndios não confinados onde as correntes convectivas são tão fortes que podem sugar combustíveis que estão ao nível do solo para dentro do fogo, e as correntes ascensoras levam estes sólidos e gases flamejantes a vários metros do solo, fazendo com que estes detritos caiam como brasas em outros combustíveis que estão na direção do vento.

5.3 Radiação

Aragão (2010, p. 143) define radiação térmica como “[...] a radiação eletromagnética que todos os corpos e substâncias sólidas, líquidas ou gasosas emitem

¹⁷Tempestade de fogo, em inglês

desde que suas temperaturas absolutas sejam maiores do que o zero grau Kelvin. A transmissão prescinde da existência de um meio material para a sua propagação”.

Temperaturas baixas somente emitem radiação na faixa do infravermelho. Temperaturas acima dos 500 °C começam a emitir radiação no espectro visível e a cor vai depender da temperatura do corpo, conforme a tabela abaixo

Quadro 9: Cor das chamas de objetos incandescentes

Cor	Temperatura Aproximada (°C)
Vermelho escuro	500 – 600
Vermelho pálido	600 – 800
Vermelho cereja brilhante	800 – 1000
Laranja	1000 – 1200
Amarelo brilhante	1200 – 1400
Branco	1400 - 1600

Fonte: Dehaan (2012)

A radiação infravermelha do sol é a principal fonte de calor da Terra. Desde que se o sol se torna visível nas primeiras horas da manhã, a radiação emitida já pode ser sentida. Dehaan (2012) leciona que este calor pode ser sentido porque é absorvido pelo corpo, e a absorção é maior que irradiação do nosso corpo. Do mesmo modo, quando em um dia de inverno, sentimos frio porque o nosso corpo irradia calor mais rápido do que absorve do ambiente. Em ambientes em que tudo está à mesma temperatura, todos os objetos estão irradiando e absorvendo calor à mesma taxa – logo não há mudança na temperatura.

Se a temperatura estiver sendo medida em K, a intensidade do total de radiação emitida (E) está relacionada a temperatura na quarta potência (T^4), tal como é previsto na relação de Stefan-Boltzmann:

$$E = \epsilon\sigma T^4$$

Onde ϵ é a emissividade da fonte e σ é a constante de Stefan-Boltzmann – cujo valor é de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Pela equação podemos perceber que mesmo um ligeiro aumento na temperatura da superfície, por exemplo, dobrando a temperatura de um compartimento de 300 K para 600 K, teremos um incremento da intensidade da radiação calorífica emitida por um fator de 16 ($2^4 = 16$). Os efeitos do calor radiante irão depender da intensidade e da duração. A tabela abaixo fornece alguns exemplos

Quadro 10: Efeitos da radiação termal em sólidos

Fonte	Fluxo de calor radiante (kW/m²)	Temperatura de equilíbrio da superfície	Efeito observado
Sol de verão	1	40 °C	Nenhum
Lareira a distância	2 - 4	45 °C	Dor após 30 segundos
Lareira próxima	4 - 6	54 °C	Dor após 8 – 10 segundos; queimaduras de segundo grau após 20 – 30 segundos
Lareira muito próxima	10	100 °C – 150 °C	Abrasamento de alguns materiais; derretimento de alguns termoplástico
Com o rosto próximo ao fogo da lareira	20	150 – 250 °C	Alguns materiais celulósicos e sintéticos entram em ignição em menos de 60 segundos
Dentro da lareira	30	300 – 400 °C	Autoignição da maioria dos combustíveis em 0 – 30 segundos (madeira em mais de 60 segundos)
Adjacente às chamas	50	400 °C	Autoignição de quase todos os materiais em menos de 5 segundos
Pós Flashover	120 - 150	Maior que 500 °C	Combustão Rápida

Fonte: Dehaan (2012)

Segundo Dehaan (2012, p. 48) a tabela acima é muito útil na estimativa da intensidade de calor em superfícies expostas após um incêndio como um auxílio na reconstrução das posições das fontes de calor e de superfícies “alvo” (que recebem o calor).

A radiação de calor é também um dos maiores fatores que fazem com que o combate a incêndio seja difícil, pois a aproximação de um grande incêndio aquece equipamentos e bombeiros, fazendo com que muitas operações sejam difíceis senão impossíveis de se desenvolver com segurança.

Figura 9: Prédio adjacente e veículo entram em ignição pela radiação térmica



Fonte: Dehaan (2012)

Em grandes focos de incêndio, não é incomum que prédios adjacentes ou veículos próximos se incendeiem somente pela radiação emanada do fogo, conforme a imagem acima.

Capítulo 6 – Propagação do Fogo Através dos Elementos da Construção

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Definir, com suas palavras, o que é reação ao fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Definir, com suas palavras, o que é resistência ao fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Citar pelo menos três estigmas da velocidade do fogo em uma cena de incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 4) Citar pelo menos três estigmas da movimentação do fogo em uma cena de incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição;

O propósito deste breve capítulo não é nos estendermos em demasia sobre as propriedades dos diversos tipos de materiais usados pelo ramo da construção quando sob a ação do fogo. Mas sim trazer alguns conceitos básicos que irão auxiliar o investigador de incêndio no que diz respeito à Ciência do Fogo.

De acordo com a doutrina apregoada por Aragão (2010), o fogo e sua relação com as edificações deve ser analisado principalmente sob dois aspectos: Reação ao fogo; e Resistência ao fogo.

Aragão (2010, p. 150) conceitua que: “*reação ao fogo* é definida pelos mecanismos de alimentação e de propagação do fogo, dando lugar a calor, chamas, gases, fumaças e cinzas. Por alimentação, entende-se o conjunto de fatores que influenciam diretamente a evolução do fogo”. Já *resistência ao fogo* é

[...] a propriedade temporal que um elemento componente ou material apresenta em conservar o desempenho das funções para as quais foi concebido, mantendo a sua estabilidade (elementos estruturais) ou integridade (elementos não estruturais), não permitindo, no caso de elementos separadores de ambiente, a passagem de gases quentes ou chamas e a acentuada elevação da temperatura no lado não exposto ao fogo.

Os materiais também podem ser definidos como *retardantes, resistentes e altamente resistentes*¹⁸. Os primeiros são os que **resistem às chamas por certo tempo**.

Quando exposta ao fogo por 30 minutos, a parede oposta às chamas não pode ter uma temperatura superior à 130 °C. Após os mesmos 30 minutos, a temperatura na face opostas às chamas – a temperatura na parede do vizinho do apartamento incendiado, por exemplo – não pode ultrapassar 250 °C, **tudo isso conservando suas características**.

Os materiais resistentes são aqueles que, quando expostos ao fogo por 90 minutos, não tem a temperatura ultrapassada de 130 °C na parede oposta às chamas e que na face oposta às chamas não ultrapassa 250 °C, **sem se deformar ou perder sua solidez**.

Segundo Aragão (2010, p. 151), materiais altamente resistentes “[...] são materiais que se mantêm incólumes durante três horas de exposição contínua ao fogo”.

O autor continua dizendo que, durante o processo de combustão, todos os materiais, objetos, equipamentos e estruturas que tem contato com as chamas passam por um processo de transformação - parcial ou total – e destruição. No entanto, essas modificações acontecem de maneira **desigual**, resultando em diferentes níveis de degradação pelo caminho que o fogo tomou, fato este que deve ser aproveitado pelo investigador para determinar a origem do fogo. Aragão (2010, p. 159) relata que

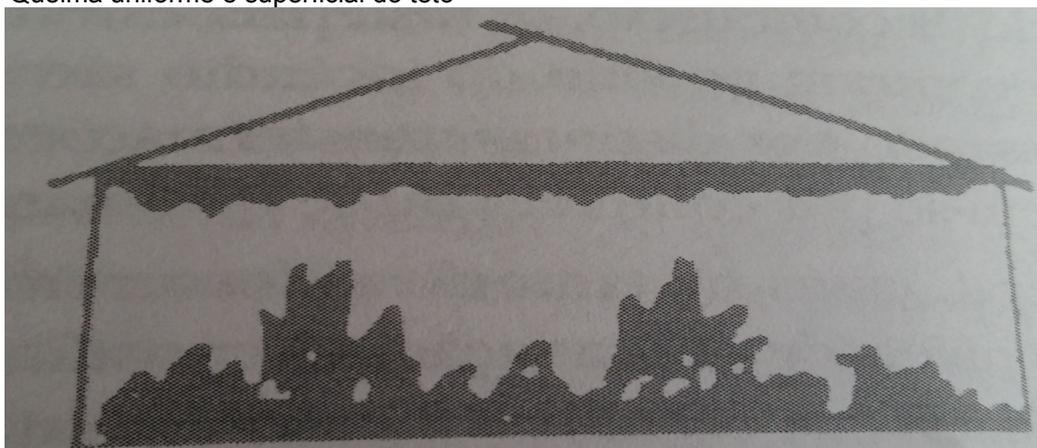
As posições e as formas da combustão são analisadas, observando-se que, em regra, quando a propagação do fogo foi natural, a intensidade da combustão vai diminuindo à medida que nos afastamos do foco do incêndio, a menos que a presença de materiais de mais fácil combustão, influenciados ou não por outros fatores técnicos favoráveis, contrariem a regra.

Nos incêndios de combustão incompleta – também conhecidos como aplásicos – onde é possível perceber distintos efeitos destrutivo das chamas, **deve-se sempre ter em mente a velocidade e a movimentação do fogo**. Segundo Aragão (2010, p. 160) velocidade do incêndio é “[...] a magnitude do vetor velocidade expressa numa unidade de distância por unidade de tempo e reflete o tempo que o fogo levou para se deslocar de um ponto para outro”. Aragão (2010) afirma que existem alguns sinais característicos que podem ser encontrados, os quais iremos abordar abaixo.

a) A queima **uniforme e superficial** no teto indica uma queima **lenta**. A combustão total ou arreamento completo e uniforme da estrutura de uma cobertura metálica podem representar dados bastante importantes para o investigador da cena;

¹⁸Classificação pelas normas alemãs (DIN), trazidas por Aragão (2010)

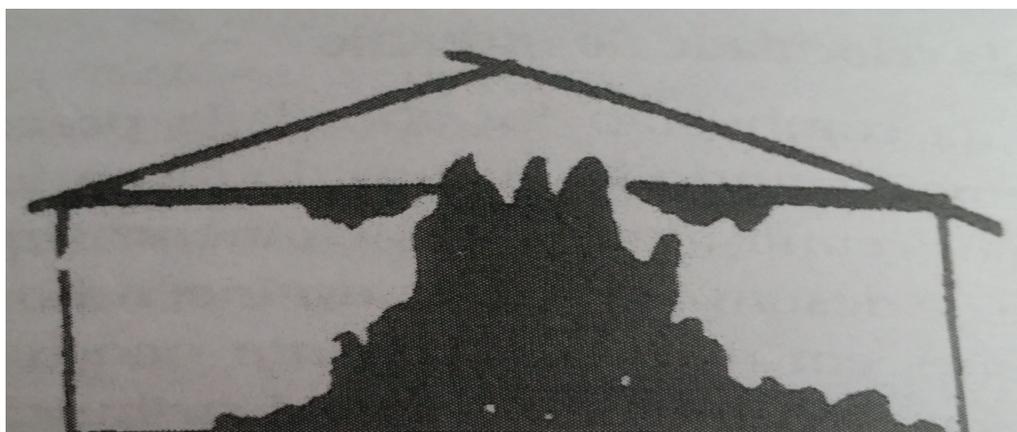
Figura 10: Queima uniforme e superficial do teto



Fonte: Aragão (2010)

b) De modo contrário ao item (a), a queima **rápida** fará um estrago **pontual**, concentrado em uma área mais restrita, **localizada logo acima da fonte principal de calor**. Também pode ser indicativo da queima rápida o **vingamento da madeira** de uma cobertura, ainda que de metal, e no qual **todo o telhado tenha sido parcialmente destruído**. Para se ter certeza, deve-se comparar uma viga de madeira comburida com uma que não o foi ou uma viga metálica que sofreu uma dilatação permanente mais pronunciada em relação às outras.

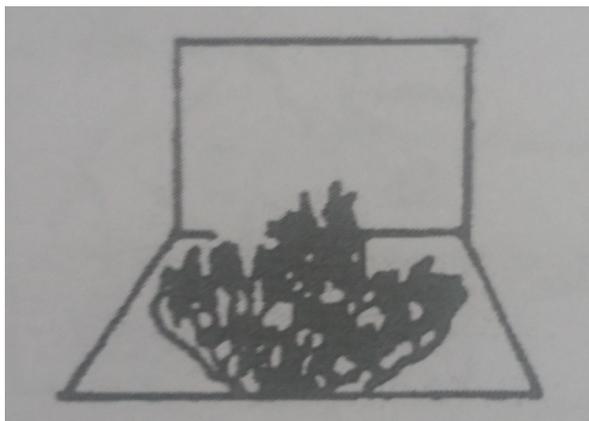
Figura 11: Queima rápida



Fonte: Aragão (2010)

c) Queimas amplas (*wide spreading*) num assoalho, desde que não haja emprego de agentes acelerantes, correspondem a uma queima **lenta**.

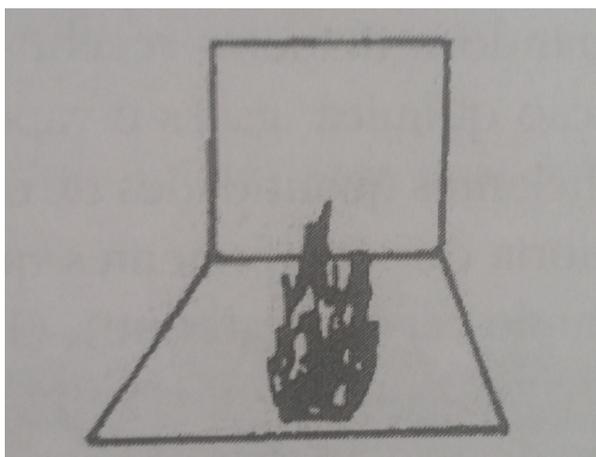
Figura 12: Wide Spreading



Fonte: Aragão (2010)

d) De modo inverso, quanto mais rápida for a queima – com conseqüente fluxo de calor elevado – mais estreita será a área de espalhamento da chama (*narrow spreading*).

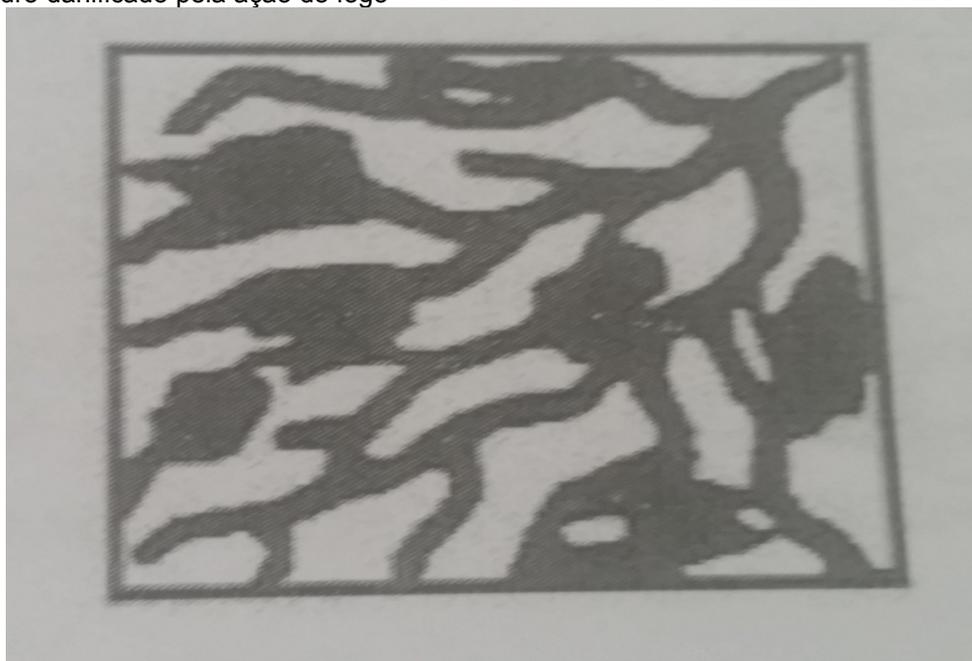
Figura 13: Narrow Spreading



Fonte: Aragão (2010)

e) A morfologia das rupturas, esfumaçamento e estilhaçamento de painéis de vidros estão ligados à velocidade de desenvolvimento do incêndio. Aragão (2010, p. 161) aponta que “[...] uma diferença de temperatura de 60°C entre a superfície exposta ao fogo e a contrária é suficiente para causar a rotura dos vidros e vidraças”. Assim, o estilhaçamento ou fragmentação dos vidros pode representar um aquecimento muito rápido de uma das superfícies do painel. Caso o estilhaçamento tenha sido nas fases **iniciais** do incêndio, então os estilhaços estarão limpos, ou seja, livres de impregnações fuliginosas ou condensados e apontam para o **aquecimento rápido**. Ainda, o **intenso esfumaçamento** e **grandes rachaduras** em vidros de janelas indicam a possibilidade de queima rápida.

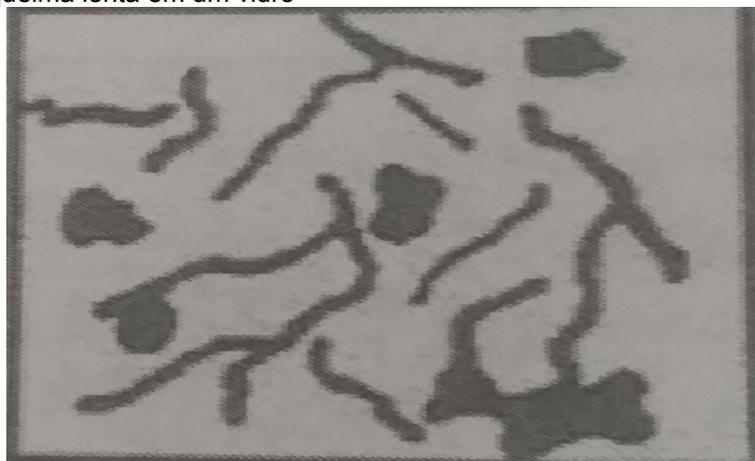
Figura 14: Vidro danificado pela ação do fogo



Fonte: Aragão(2010)

e) Esfumaçamento reduzido em pequenas rachaduras em vidraças indicam uma queima lenta

Figura 15: Sinais de queima lenta em um vidro



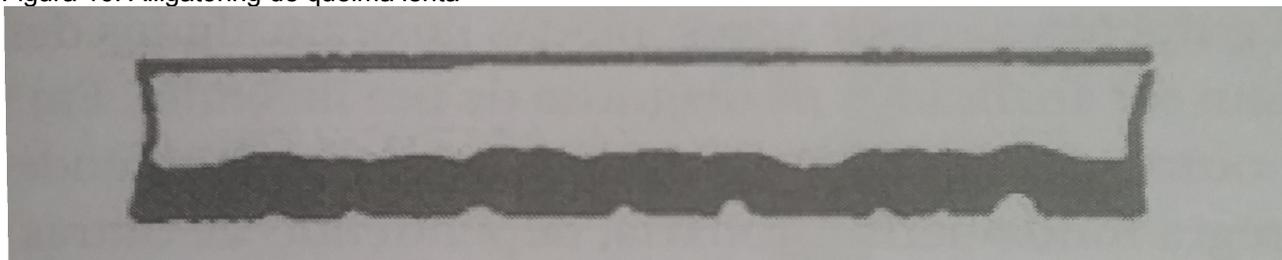
Fonte: Aragão(2010)

f) Os resíduos gerados pela queima da madeira e dos produtos dela derivados fornecem informações valiosas na investigação de um sinistro. Será explicado em capítulo posterior, mas quando a madeira recebe uma determinada quantidade de calor, ocorre uma transformação química, na qual gases e vapores são destilados e se desprendem da madeira. Segundo Aragão (2010), se a quantidade de calor aplicada a massa de madeira for suficiente, só restará carbono – os outros componentes foram destruídos pelas

chamas. A pirólise é o processo pelo qual o calor decompõe quimicamente a madeira. Ela pode ser rápida – indicando a presença de um acelerador – ou lenta, devido ao baixo calor aplicado.

Aragão (2010) leciona que com a queima da madeira, há o desprendimento da umidade nela contida, fazendo com que a massa resultante contraia-se, assumindo um aspecto que lembra a pele de um jacaré – sendo por isso conhecida como *alligatoring*. Incêndios lentos produzem um efeito *alligatoring* **plano, opaco e mais uniforme**.

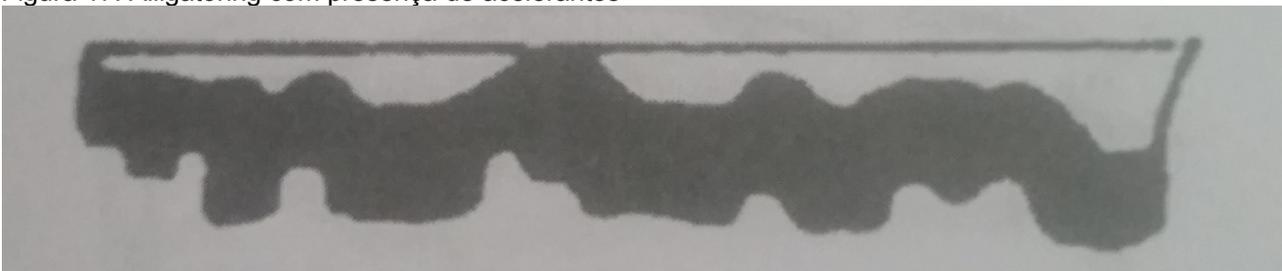
Figura 16: Alligatoring de queima lenta



Fonte: Aragão(2010)

Já na queima rápida, o *alligatoring* será irregular, profundo e geralmente com superfície brilhante. É indicado que o investigador examine por variações no *alligatoring* e pontos brilhantes dentro de uma área escura de queima: estes são todos indícios da presença de acelerantes.

Figura 17: Alligatoring com presença de acelerantes



Fonte: Aragão (2010)

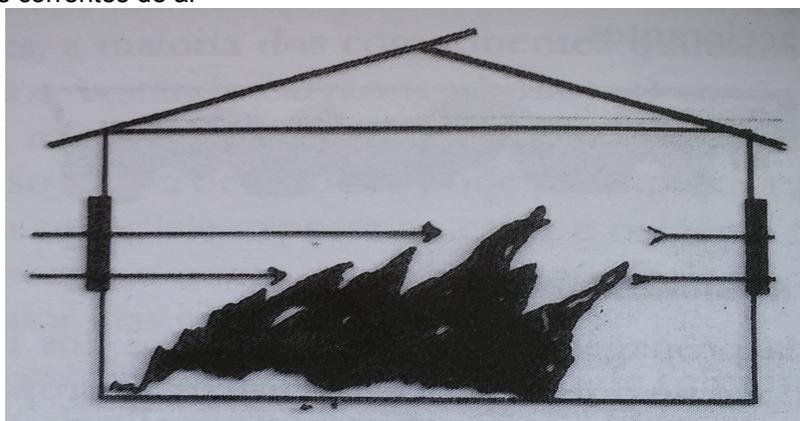
Terminada a discussão acerca dos traços característicos na estrutura relativos a velocidade do fogo, vamos discorrer um pouco sobre os estigmas em relação a movimentação do fogo.

Aragão (2010, p. 163) define *movimentação do fogo* como “[...] a sua mudança de posição no espaço”. Conforme já é de conhecimento do leitor, a tendência natural do fogo é **subir**. Então é de se esperar que, desde que não hajam ventos fortes, as chamas irão se movimentar na vertical, desde que haja material combustível para se ignizar ou que fluxo ascendente de calor ainda não tenha sido resfriado o suficiente que o faça descer.

Segundo Aragão (2010), a propagação **horizontal** do fogo é lenta e difícil; e a propagação para baixo do fogo só acontece em alguns casos excepcionais – como na presença de acelerantes na superfície que está a queimar. A partir de agora, tal qual fizemos no quesito velocidade do fogo, iremos apresentar algumas características da movimentação do fogo trazidas na obra do autor.

g) As correntes de ar irão desviar **lateralmente** a direção das chamas, tendo como efeito secundário a aceleração da velocidade de propagação

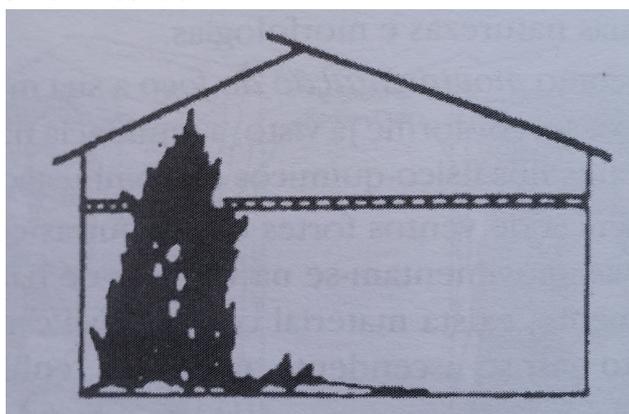
Figura 18: Efeito das correntes de ar



Fonte: Aragão(2010)

h) Não havendo correntes de ar, o fogo segue a regra geral e **queima na direção vertical no sentido de baixo para cima**

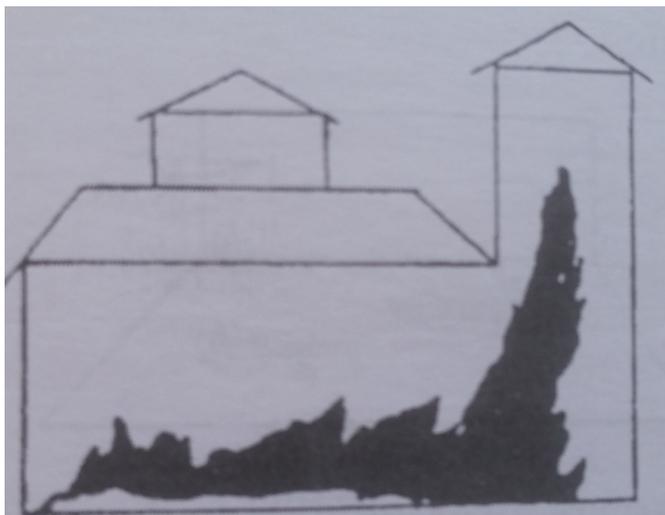
Figura 19: Queima padrão em um incêndio



Fonte: Aragão(2010)

i) Na presença de espaços verticais reduzidos, como poços de elevador e escadas, pode acontecer o efeito chaminé e produzir a subida das chamas e das fumaças que podem conduzir o calor por convecção

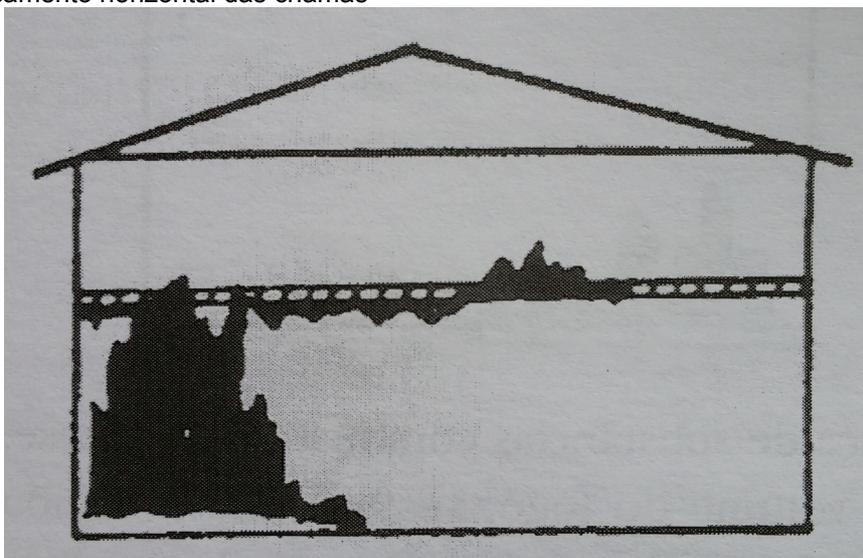
Figura 20: Efeito chaminé



Fonte: Aragão(2010)

j) Caso as chamas encontrem obstáculos horizontais, elas tenderão a se deslocar lateralmente, com a intensidade da carbonização diminuindo no sentido da propagação

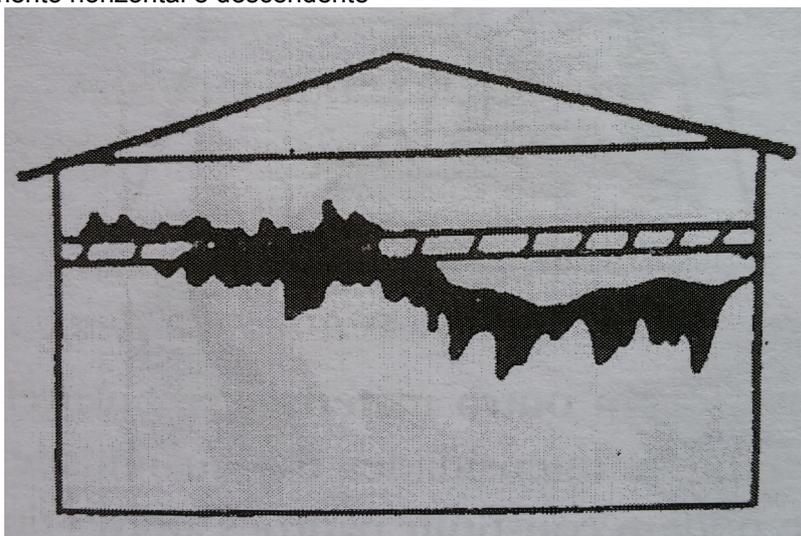
Figura 21: Deslocamento horizontal das chamas



Fonte: Aragão(2010)

k) A propagação lateral, bem como a para baixo, são influenciadas pela composição dos combustíveis que estão no caminho do fogo, sendo favorecidas pela presença de tintas e aglomerantes inflamáveis. No entanto, é necessário que se suspeite da utilização de acelerantes.

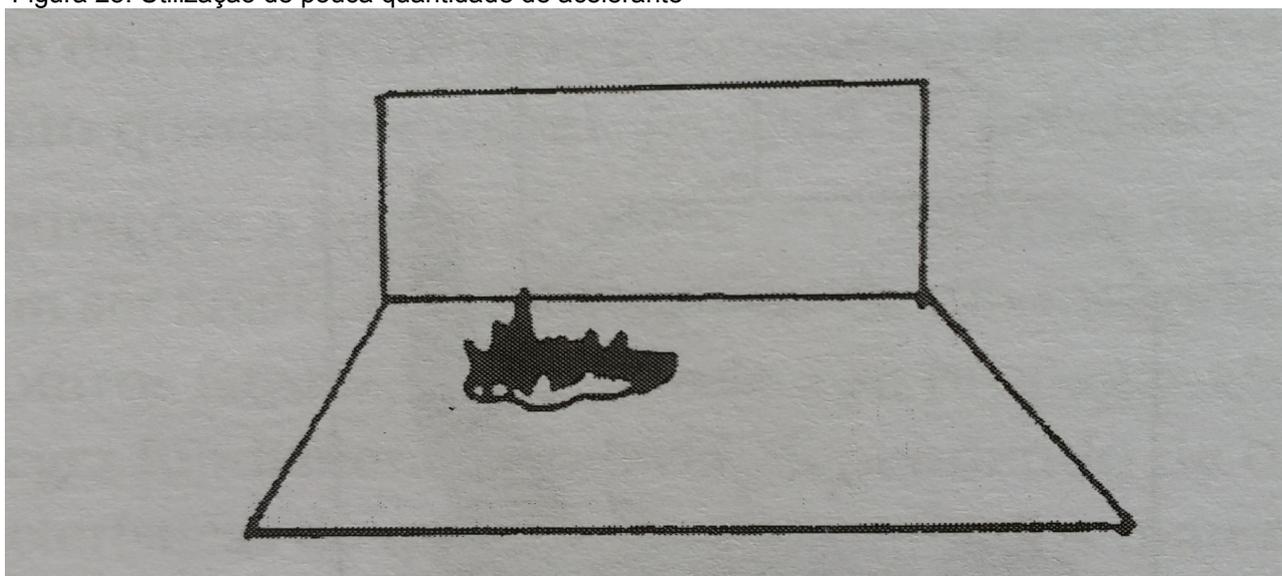
Figura 22: Deslocamento horizontal e descendente



Fonte: Aragão(2010)

l) Quantidades pequenas de acelerantes geralmente confinam a própria queima à área onde havia o combustível, deixando o resto da cena incólume

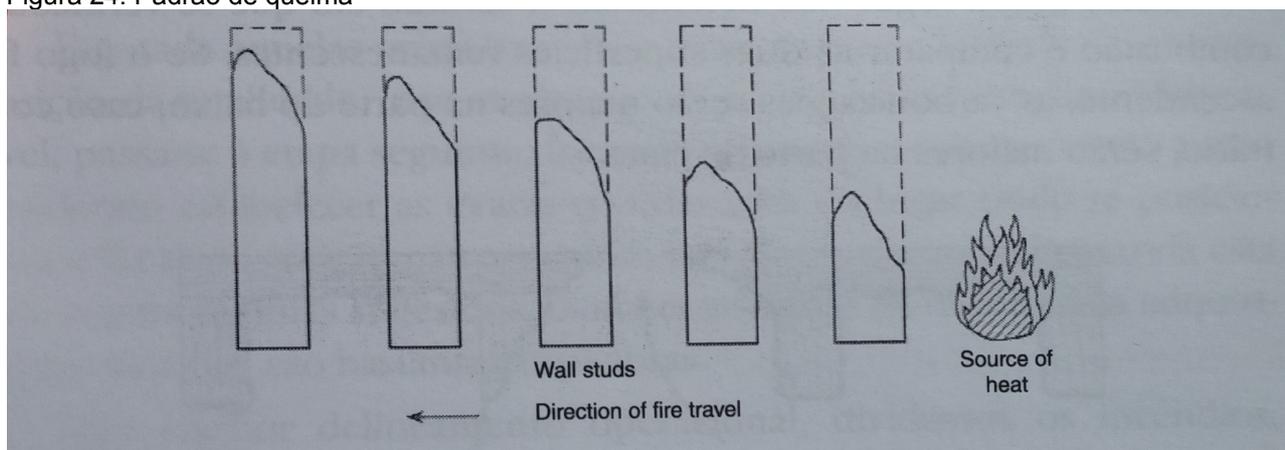
Figura 23: Utilização de pouca quantidade de acelerante



Fonte: Aragão (2010)

m) Quando madeira ou outro combustível queima, ele irá perder massa. Os padrões deixados são indicativos valiosos para o investigador atento, pois é possível deduzir a posição relativa da fonte de calor que produziu a queima. No exemplo apresentado abaixo, pode-se perceber claramente que a altura dos painéis aumenta da direita para a esquerda, indicando que a fonte de calor deve ter estado à direita, próximo do painel mais atingido. Como “prova real”, perceber-se-ia que as superfícies laterais de queima nos painéis mais à direita são maiores que os à esquerda

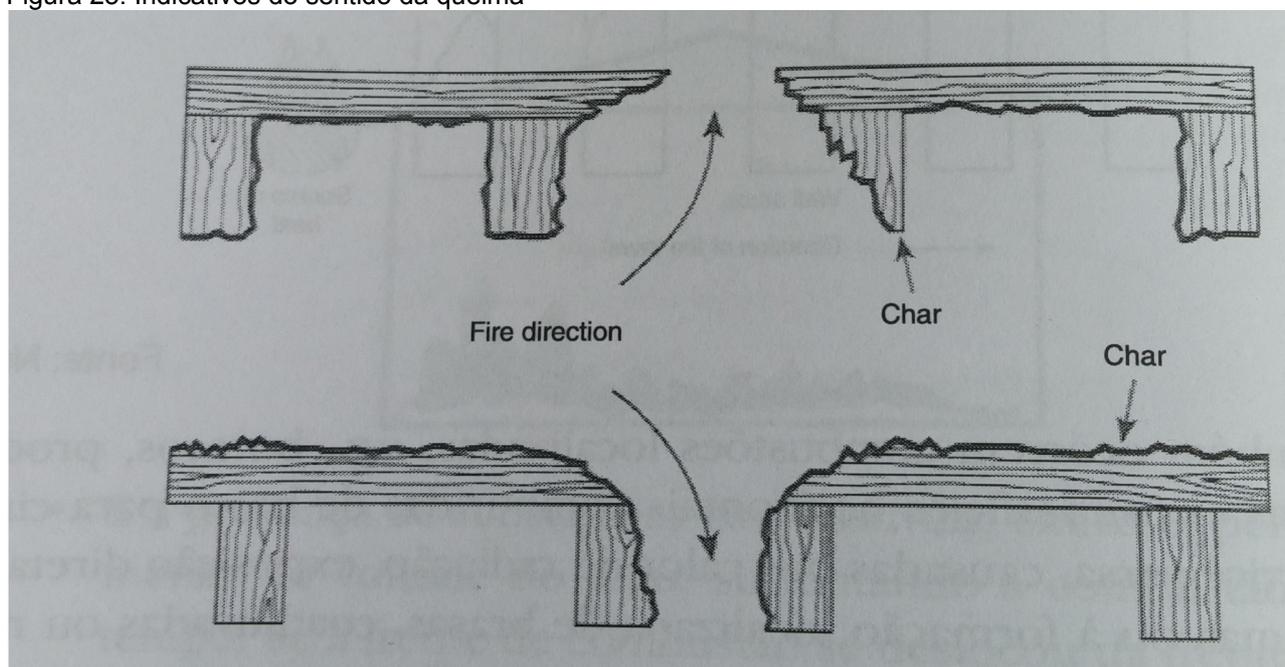
Figura 24: Padrão de queima



Fonte: Aragão (2010)

n) Um modo de determinar o sentido da queima é comparar as duas superfícies remanescentes. Se o fogo se processou de baixo para cima, os sinais de carbonização serão maiores na parte de baixo; caso tenha se processado de cima para baixo, os sinais de carbonização serão maiores na parte de cima

Figura 25: Indicativos do sentido da queima



Fonte: Aragão (2010)

Para finalizar este capítulo, cabe tratar brevemente sobre a NBR 9442 que trata da determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. A norma inicia trazendo alguns conceitos necessários como o que é o índice de

propagação de chama, o que é o fator de evolução do calor, etc. Em seguida faz a especificação do equipamento que é utilizado no ensaio em todos os seus componentes.

Em seguida, são descritos procedimentos para a preparação dos corpos-de-prova, os quais devem seguir passos específicos a depender do seu tipo. Não iremos reproduzir aqui estes passos, pois são muito extensos. Após os procedimentos de preparação, os corpos devem ser mantidos em uma estufa com ventilação forçada a $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$ por 24 horas e a seguir condicionados até o equilíbrio em câmara climatizada com temperatura de $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(50 \pm 5)\%$.

Feitas todos os procedimentos iniciais descritos no item referente à preparação da aparelhagem deve-se colocar o suporte com o corpo-de-prova sobre o seu apoio no aparelho e deslocá-lo, de modo a que fique em frente ao painel radiante. Inicia-se a contagem do tempo simultaneamente. **O tempo decorrido entre retirar o corpo-de-prova da câmara de condicionamento e o início do ensaio não pode ser superior a cinco minutos e, durante este intervalo, o corpo deverá estar em um invólucro impermeável.**

O responsável pelo ensaio deverá anotar o tempo em que a frente da chama passa pelas marcas feitas a cada 76 mm no suporte ou linhas correspondentes no próprio corpo-de-prova. Deverá também tomar nota de qualquer fenômeno que venha a acontecer durante o processo – como fusão, gotejamento, fumaça, etc.

O ensaio termina após 15 minutos ou ao quando a chama percorrer toda a extensão do corpo-de-prova, caso este tempo seja menor que 15 minutos. Deverá ser anotada a temperatura máxima alcançada na chaminé. Após esta fase deverão ser efetuados os cálculos descritos na norma que indicarão qual é a classe do material em relação ao índice de propagação de chama, conforme a tabela abaixo

Tabela 11: Classificação pelo índice de propagação da chama

Classe	Índice de propagação superficial da chama
A	0 – 25
B	26 – 75
C	76 – 150
D	151 – 400
E	Acima de 400

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986)

No próximo capítulo discutiremos um pouco a respeito das classes de incêndio.

Capítulo 7 – Classes de Incêndio

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Diferenciar, com suas palavras, as cinco classes de incêndio, de acordo com a doutrina do CBMSC e com o que foi repassado em aula;
- 2) Citar uma forma de extinguir cada uma das classes de incêndio, de acordo com o que foi repassado em aula.

Segundo Oliveira (2005), é possível dividir os incêndios em cinco classes, as quais indicam qual será o melhor agente extintor a ser utilizado em cada caso. A classificação adotada pelo CBMSC em seus cursos de combate a incêndio é a mesma utilizada pela *National Fire Protection Association* (NFPA), pela *International Fire Service Training Association*¹⁹ (IFSTA) e também pelos outros corpos de bombeiros militares brasileiros. Os incêndios podem ser então das classes A, B, C, D e K.

No entanto, em nossa doutrina pericial, a classe K é abrangida pelo classe B, conforme explicaremos mais a frente.

7.1 Incêndios Classe A

De acordo com Oliveira (2005), esta classe apresenta os materiais combustíveis sólidos comuns, tais como papel, madeira, plástico e borracha. Uma característica deste tipo de incêndio é que ele deixa resíduos (cinzas), em razão de ele queimar em superfície e em profundidade. O método mais indicado para extinguir um incêndio classe A é por meio do resfriamento – geralmente com água – mas também é possível valer-se de pós químicos secos ou mesmo do Líquido Gerador de Espuma (LGE).

¹⁹Associação Internacional para o Treinamento de Bombeiros

Figura 26: Incêndios classe A



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

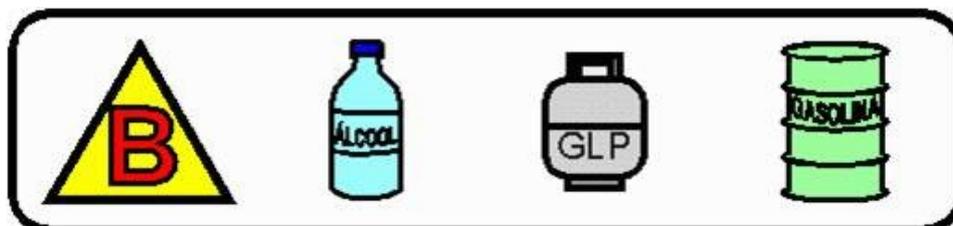
Recentemente os extintores de incêndio veiculares tiveram que ser substituídos para que tivessem poder de extinguir os incêndios classe A.

7.2 Incêndios Classe B

Estes são os incêndios que envolvem líquidos inflamáveis tais como a gasolina, álcool, querosene, hexano, etc. Oliveira (2005) afirma que ao contrário dos incêndios classe A, os líquidos inflamáveis quando queimam não deixam resíduos. Além disso não queimam em profundidade, somente em superfície. O melhor meio para extinguir um incêndio classe B é por meio do abafamento (uso de LGE), por quebra da reação em cadeia (também conhecido como “abafamento químico”).

Dentro da doutrina, ainda existe o dito incêndio Classe K – que é aquele em óleos, gorduras de cozinha e piche derretido. Alguns conferem uma classe específica para essas substâncias por elas terem condições peculiares de combate, destacando-se a proibição de utilização de jato de água direto, pelo perigo de ocorrer o fenômeno do *boilover*. Esta distinção não será feita neste material didático. **Ou seja, para os propósitos do nosso curso, o incêndio classe K está englobado pelo classe B.**

Figura 27: Incêndio Classe B



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/b.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

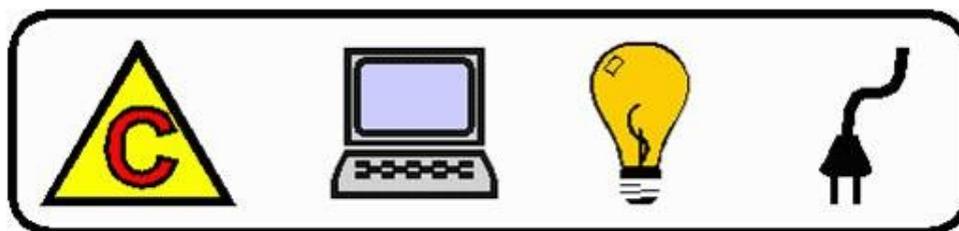
Os incêndios classe B tem potencial enorme de causar danos ao patrimônio e às pessoas. Diversas vezes os noticiários já divulgaram casos envolvendo acidentes com

álcool e crianças. Este foi um dos motivos que induziu a drástica diminuição da disponibilidade de álcool líquido nos supermercados, sendo este substituído pelo álcool gel.

7.3 Incêndio Classe C

São os incêndios que envolvem equipamentos elétricos energizados. O risco, nesta classe, não reside somente no perigo do fogo em si, mas também na energia elétrica dos aparelhos energizados, podendo vir a ferir ou matar bombeiros pelo contato direto ou pela condução elétrica na água usada no combate. Deve-se combater este tipo de incêndio com agentes não condutores de eletricidade, tais como os pós químicos e o dióxido de carbono.

Figura 28: Incêndio Classe C



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Caso a fonte de energia consiga ser localizada e eliminada, o incêndio classe C pode ser considerado um Classe A.

7.4 Incêndio Classe D

São aqueles que envolvem incêndio em metais combustíveis pirofóricos. Metais pirofóricos são aqueles que reagem violentamente na presença de água ou umidade tais como o magnésio, selênio, antimônio e sódio. Suas chamas atingem altas temperaturas e por suas propriedades químicas reagem de maneira indesejada com a água. A melhor maneira de extinguir um incêndio Classe D é por meio do uso de pós químicos especiais que agem na quebra da reação em cadeia.

Figura 29: Incêndio Classe D



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/d.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Figura 30: Sódio reagindo com água



Fonte: Imagem retirada da internet. Disponível em: <https://c2.staticflickr.com/2/1274/591321214_b2daeffa33_m.jpg>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Na Figura 13 se vê o que ocorre quando se coloca uma pequena massa de sódio metálico em um pouco de água. A reação é violentíssima e libera grande quantidade de calor. Este é o motivo pelo qual estes elementos devem ser conservados dentro de substâncias sem oxigênio, como o queroneze.

Capítulo 8 – Tetraedro do Fogo

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar quais são os componentes do tetraedro do fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Explicar com suas palavras, o que é a reação em cadeia, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Explicar com suas palavras a influência que o local em que está o foco de incêndio em relação ao tamanho das chamas, de acordo com o que foi repassado na lição.

Para que uma reação de combustão aconteça e mantenha-se é necessário a presença de quatro elementos essenciais: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. Estes quatro elementos são conhecidos como o tetraedro do fogo. De acordo com Aragão (2010), até pouco tempo atrás a reação em cadeia não fazia parte dos elementos essenciais, e a analogia feita era a do triângulo do fogo.

Sarte (2009, p. 38) diz que além dos componentes do tetraedro do fogo, uma condição favorável se faz necessária para que a combustão ocorra, já que a proporção de combustível e comburente é de importância ímpar na reação. A mistura inflamável poderá ser pobre, ideal ou rica. A mistura rica é aquela em que há muito combustível e pouco comburente. Já a mistura pobre é aquela em que se tem pouco combustível e muito comburente. Uma figura trazida pelo autor em seu trabalho é muito didática, sendo por isso reproduzida nesta pesquisa.

Figura 31: Queima de GLP



Fonte: Sarte (2009)

Perceba que não há chamas na zona de mistura rica nem na mistura pobre.

8.1 Combustível

O combustível é a substância que se oxida, ou seja, que perde elétrons no processo de combustão. Aragão (2010, p. 79) diz que para efeitos práticos de estudo de incêndio, combustível é “[...] toda e qualquer matéria, sólida, líquida ou gasosa que queima [...]”. Do ponto de vista da ciência, combustível é quaisquer substâncias que reajam quimicamente com o oxigênio (ou outro comburente) com desprendimento de fogo (calor e luminosidade)”.

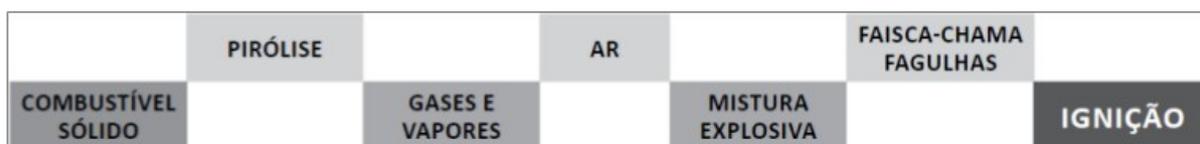
Tecnicamente quase todas as matérias podem ser combustíveis a determinada temperatura, porém, na prática, os incêndios geralmente atendidos pelos corpos de bombeiros não ultrapassarão um dado limite de temperatura. Por esse motivo, o CBMSC – de acordo com seu material didático referente a Combate a Incêndio Estrutural - arbitra que a fronteira entre os materiais combustíveis e os não combustíveis é de 1000 °C. Os

materiais que entram em combustão temperaturas menores que 1000 °C são combustíveis, enquanto os que só entram em processo de combustão acima desta temperatura são não combustíveis.

a) Combustíveis Sólidos

É comum pensarmos, ao ver um pedaço de lenha queimando, que é a própria madeira que está queimando, mas isto não é necessariamente verdade. Para que o pedaço de madeira possa pegar fogo é necessário que a energia térmica na forma de calor interaja com o combustível, fazendo com que a superfície entre em decomposição térmica e libere vapores – este processo é conhecido como pirólise. Estes vapores então, irão se misturar com o oxigênio atmosférico para formar a mistura inflamável, a qual poderá inflamar-se pela presença de uma fonte de ignição.

Figura 32: Combustível sólido



Fonte: Seito (2008)

A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível sólido entre em ignição.

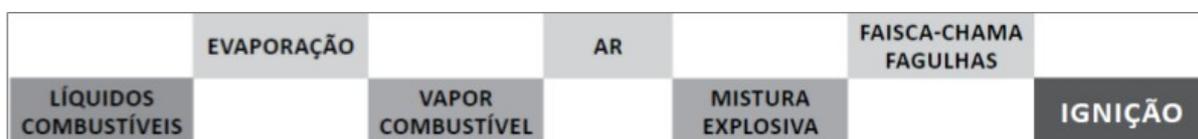
Outra propriedade dos combustíveis sólidos é a de possuir forma e tamanho definidos em virtude de seu arranjo molecular ordenado e coeso. Em virtude do processo de pirólise explicado acima, a relação superfície/massa do combustível sólido irá impactar com grande importância a velocidade de queima do material. Quanto maior for a relação, mais rápido irá queimar e de maneira inversa, quanto menor for esta relação, mais devagar queimará o material.

Basta imaginar um tronco sólido de madeira de grande diâmetro. Ao tentar iniciar o processo de combustão neste tronco se perceberá que é muito difícil, justamente pela relação superfície/massa ser pequena. Ao cortar este tronco em finas chapas é fácil supor que será muito mais fácil iniciar a combustão, já que a relação superfície massa foi aumentada. Imaginando que estas finas chapas foram reduzidas a pó, é simples deduzir que a combustão será imensamente mais rápida.

b) Combustíveis Líquidos

De maneira semelhante, mas não igual aos combustíveis sólidos, os líquidos também precisam passar por um processo de transformação antes de estarem aptos a formar uma mistura inflamável. Nos combustíveis líquidos é necessário que as moléculas que se encontram na superfície do líquidos passem para a forma de vapor e isto também é feito pela ação do calor - só que neste caso não é a pirólise que age e sim a vaporização. Os vapores formados irão se misturar com o oxigênio e formar a mistura inflamável que, na presença de fontes de ignição, poderá se inflamar.

Figura 33: Combustível líquido



Fonte: Seito (2008)

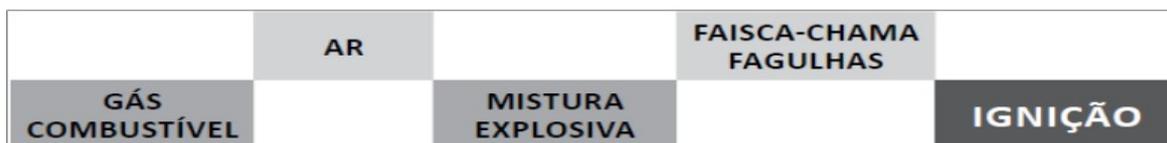
A figura acima mostra os passos necessários para um combustível líquido entre em ignição.

A vaporização demanda menor energia que a pirólise, sendo um dos motivos pelos quais os combustíveis líquidos são mais eficientes que os sólidos.

c) Combustíveis Gasosos

Por já se encontrarem na forma gasosa estão aptos a desde logo formarem a mistura inflamável com o oxigênio (ou outro comburente), não necessitando passar nem pelo processo de pirólise nem pelo de vaporização, sendo ainda mais eficientes que os combustíveis líquidos.

Figura 34: Combustível gasoso



Fonte: Seito (2008)

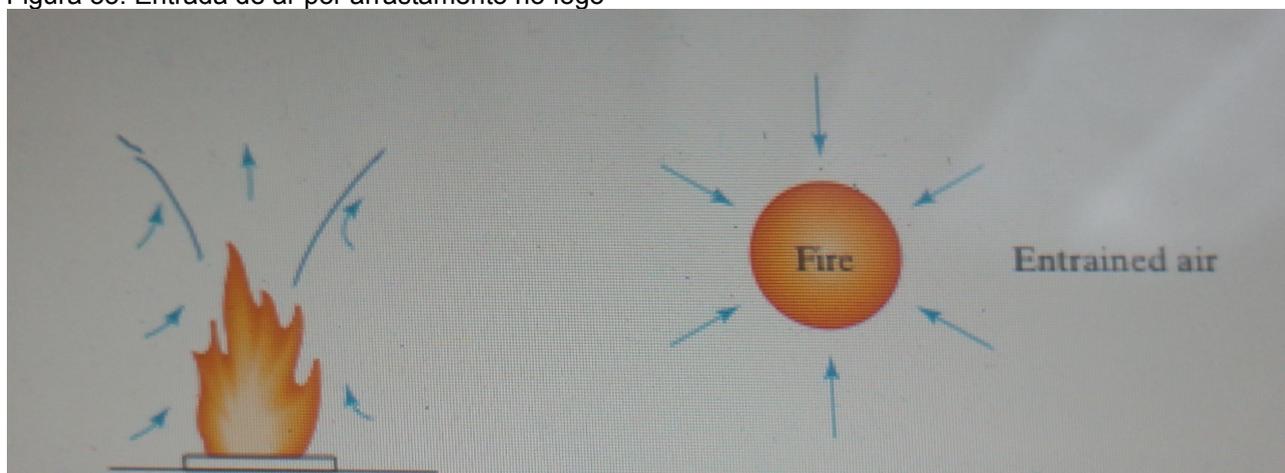
A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível gasoso entre em ignição.

Dehaan (2012) leciona que se medíssemos a temperatura das chamas de um foco de incêndio hipotético, veríamos um padrão previsível da temperatura das chamas em

relação a altura que se encontram do combustível. Temperaturas de 700 °C a 900 °C logo acima do combustível ignizado caem para cerca de 500 °C na ponta das labaredas, onde fica bastante turbulenta e intermitente. A medida que os gases continuam a subir, também continuam a perder energia na forma de calor até chegar ao ponto de não mais subirem por já não estarem mais tão quentes e, por consequência, sua densidade já estará maior. É preciso ter em mente que a maioria dos produtos da combustão – CO₂, SO₂ – são mais pesados que o ar quando estão a mesma temperatura; CO tem quase a mesma densidade; somente o vapor de água é mais leve.

O ar circundante é sugado pela base do fogo, de forma a manter a reação e, ao mesmo tempo, difunde e refrigera os gases quentes na pluma²⁰, tal qual na figura abaixo.

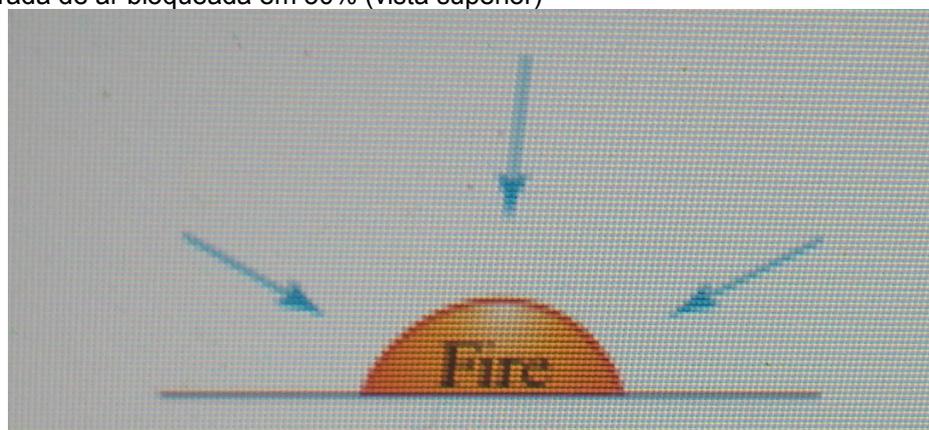
Figura 35: Entrada de ar por arrastamento no fogo



Fonte: Dehaan (2012)

Se o foco de incêndio começou encostado em uma parede não combustível, a entrada de ar é reduzida em 50%.

Figura 36: Entrada de ar bloqueada em 50% (vista superior)

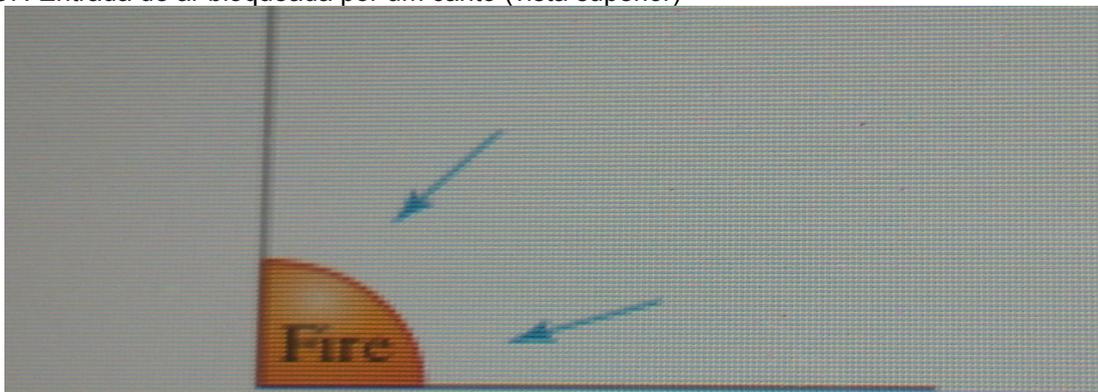


Fonte: Dehaan (2012)

²⁰Plume, em inglês

Segundo Dehaan (2012), caso os gases tenham mais tempo para subir antes que se resfriem ao ponto de não estarem mais incandescentes, a pluma de fogo visível será maior. Se o foco de incêndio estiver em um canto, a entrada de de ar será ainda mais restringida e a pluma de fogo será ainda maior.

Figura 37: Entrada de ar bloqueada por um canto (vista superior)



Fonte: Dehaan (2012)

Para melhor visualização, reproduzimos abaixo imagens retiradas do livro *Kirk's Fire Investigation Handbook*.

Figura 38: Fogo em colchões semelhantes longe de paredes. Altura máxima da chama de 0,7 m



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 39: À esquerda altura máxima da chama contra uma parede não combustível em 1,5 m; à direita altura máxima da chama em um canto em aproximadamente 3 m



Fonte: Dehaan (2012)

As imagens mostram claramente a influência que a posição do combustível possui no potencial de espalhar as chamas em um ambiente.

8.2 Comburente

O oxigênio é, sem dúvida, o comburente mais conhecido por todos. De modo contrário ao combustível estudado no tópico anterior, que era o agente redutor da reação, o comburente é o agente oxidante – é quem ganha elétrons no processo de combustão. Oliveira (2005, p. 17) define que os agentes oxidantes “[...] são aquelas substâncias que cedem oxigênio ou outros gases oxidantes durante o curso de uma reação química”.

Aragão (2010, p. 80) define que comburente são “[...] as substâncias que liberam facilmente oxigênio e ativam a combustão de outros materiais, tais como nitratos e cloratos, na realidade pode-se empregar como comburente outros compostos químicos

oxigenados ou não. Por sua importância e disponibilidade, o oxigênio atmosférico se destaca”.

O ar atmosférico é composto por uma mistura homogênea de gases, estando entre os principais o dióxido de carbono, o nitrogênio, o vapor d'água e o oxigênio. Para efeitos de cálculos termodinâmicos o nitrogênio engloba os outros gases e diz-se que tem uma proporção volumétrica de 79% na atmosfera, enquanto o O₂ ocupa apenas 21% do total.

O comburente tem especial impacto na velocidade de queima de um incêndio. Oliveira (2005, p. 17) destaca que quando a quantidade de oxigênio descer de 21% para a faixa compreendida entre 16% e 8%, as chamas darão lugar a formação de brasas e, em concentrações menores do que 8% é muito provável que a combustão cesse. O mesmo autor (2005, p. 17), no entanto, chama a atenção para um fato interessante:

Entretanto, as investigações mais recentes mostram que à medida que aumenta a temperatura de um incêndio confinado, simultaneamente, menores concentrações de oxigênio são exigidas para que siga existindo a combustão com chama (fato normalmente observado em condições de temperatura de pós flashover – nas fases de desenvolvimento completo e diminuição do fogo – quando as concentrações de oxigênio são muito baixas, mas a temperatura interna do ambiente é muito alta).

A informação trazida pelo autor é da maior importância, pois vai de encontro ao que é comumente ensinado em cursos de Ciência do Fogo, em que a necessidade de oxigênio é contante, sem se alterar com a fase do incêndio.

8.3 Calor

O calor é por definição uma forma de energia. Aragão (2010, p. 78) define que o calor “[...] é uma forma de energia (em trânsito) caracterizada pela vibração das moléculas, capaz de causar mudanças físicas (de estado) e/ou químicas, e que se transmite de um sistema para outro, quando há uma diferença de temperatura (medida da agitação dos constituintes de um corpo) entre eles. O calor ou energia calorífica abarca componentes de condução, convecção ou radiação”.

O calor não é gerado somente por meio das reações de combustão, diversas outras formas de energia podem, eventualmente tornar-se energia térmica – fato explicado pela lei da conservação de energia. Oliveira (2005, p. 20) cita que:

O calor ou energia calorífica é gerado pela transformação de outras formas de energia, a saber, energia química (a quantidade de calor gerado pelo processo de combustão), energia elétrica (o calor gerado pela passagem de eletricidade

através de um condutor, como um fio elétrico ou um aparelho eletrodoméstico), energia mecânica (o calor gerado pelo atrito de dois corpos) ou ainda, energia nuclear (o calor gerado pela fissão ou fusão de átomos).

É importante destacar o que Sarte (2009) traz em seu trabalho: os materiais combustíveis não têm calor “armazenado” neles, uma vez que este é por definição uma energia em trânsito. O que eles possuem é energia interna, uma forma de energia que é estudada em profundidade pela termodinâmica, principalmente pela sua primeira lei.

Pela conjugação dos ensinamentos de Russel (1994) e Atkins (2006) pode-se indicar que a energia interna de um combustível, representado pela letra U, é a soma das energias cinética e potencial de suas moléculas e ligações químicas. E ainda que devido aos constantes movimentos das partículas, é gerada uma energia térmica a qual é diretamente proporcional à temperatura do corpo.

Aragão (2010, p. 78) traz uma série de consequências nas substâncias e corpos pela ação do calor

- 1) É responsável direto pela dilatação dos corpos, sejam sólidos líquidos ou gasosos. Caso um gás esteja confinado, o calor será responsável pela sua dilatação e conseqüentemente pelo aumento de pressão dentro do local de confinamento;
- 2) É a força motriz pela qual a matéria consegue mudar seu estado físico;
- 3) É responsável pela ignição dos combustíveis;
- 4) É responsável pela alteração da resistência estrutural dos corpos.

O calor é a forma mais importante de energia na investigação de incêndios, uma vez que os vestígios que serão deixados na cena serão, na sua maioria, em virtude da ação do calor.

8.4 Reação em Cadeia

É um elemento relativamente novo ao estudo da Ciência do Fogo, e foi graças a sua inserção que o triângulo do fogo tornou-se o tetraedro do fogo. Sabe-se hoje em dia que, a partir de determinada temperatura, a reação de combustão gera o próprio calor necessário para que continue processando-se. O mecanismo simplificado desta reação em cadeia é explanado por Oliveira (2005, p. 20):

A cadeia de reações, formada durante a combustão, propicia a formação de produtos intermediários instáveis, principalmente radicais livres, prontos a se combinarem com outros elementos, dando origem a novos radicais ou, finalmente,

a corpos estáveis. Consequentemente, sempre teremos a presença de radicais livres em uma combustão. A estes radicais livres cabe a responsabilidade de transferir a energia necessária para a transformação da energia química em energia calorífica, decompondo as moléculas ainda intactas e, desta vez, provocando a propagação do fogo numa verdadeira cadeia de reação. Portanto, a reação em cadeia torna a queima auto-sustentável.

Uma analogia que facilita o entendimento da reação em cadeia é a de enfileirar dominós um em frente ao outro e, após derrubarmos o primeiro – ou seja, transferirmos energia ao sistema -, a energia desencadeada pela queda da primeira peça é suficiente para derrubar a próxima, que é suficiente para derrubar a próxima, etc.

Capítulo 9 – Fenômenos Comuns em Incêndios

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *flashover*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Explicar com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *backdraft*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *boilover*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 4) Explicar com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como BLEVE, de acordo com o que foi repassado na lição.

9.1 Flashover

Segundo a apostila de Combate a Incêndio do CBMSC, flashover é o fenômeno que acontece em incêndios que, após determinado tempo, todos os gases combustíveis resultantes da queima entram em ignição simultaneamente, com efeitos similares de uma explosão.

Flatley (2005, p.01) define o flashover como o “envolvimento súbito de um quarto ou área por chamas do chão ao teto, causado pela realimentação de radiação termal”. A radiação a que se refere o autor é energia sendo irradiada de volta a tudo que está em determinado local, como móveis, paredes, assoalho e teto. Essa energia radiante presente irá aumentar a temperatura de **todos** os conteúdos do local às suas respectivas temperaturas de ignição. Quando todos os conteúdos entrarem, repentinamente e simultaneamente, em ignição, então o flashover terá acontecido.

O autor continua dizendo que vários fatores irão influenciar na maior ou menor possibilidade da ocorrência do flashover: o tamanho do local, os combustíveis presentes, a disponibilidade de ar e até mesmo o grau de isolamento que é disponibilizado ao incêndio. Vamos tratar um pouco de cada um agora.

Não é difícil imaginar que o quarto de uma quitinete tem maiores chances de sofrer um flashover do que um enorme galpão. Tudo está muito próximo e a radiação demora

pouquíssimo tempo para atingir qualquer combustível presente – fato este que aumenta a absorção do calor. Já no supracitado galpão, a energia precisaria viajar mais tempo para atingir os combustíveis, perdendo parte do seu calor no caminho.

Caso o local do sinistro esteja lotado de móveis, tecidos e outros materiais combustíveis, então haverá mais fogo e, conseqüentemente, mais radiação térmica – o que aumenta vertiginosamente a possibilidade de ocorrência de um flashover.

O suprimento de ar adequado irá possibilitar o crescimento do fogo para produzir a ignição súbita generalizada²¹. Flatley (2005) informa que um quarto comum possui combustíveis suficientes para produzir um incêndio de proporções adequadas. O que é preciso é que o ar “abane” as chamas, de modo a manter a reação de combustão alimentada de comburente.

Por fim, o isolamento. Quanto melhor for o isolamento térmico fornecido pelas paredes, teto, assoalho ou qualquer outro anteparo que possa concentrar o calor na região, maior será a chance da ocorrência do flashover, pois assim a radiação ficará restrita a uma determinada área e sua energia não será perdida para outros locais.

É importante que as guarnições se atentem para alguns sinais característicos deste tipo de fenômeno – trazidos pela apostila de combate a incêndio do CBMSC:

a) Fumaça densa: Devido a restrição da área, a fumaça formada tenderá a se acumular, aumentando sua densidade. Também estará alimentada com gases provenientes da combustão ainda não inflamados, sendo necessário apenas atingir a temperatura de ignição para que queimem.

b) “Línguas de fogo” na fumaça preta, que tendem a ir para aberturas como frestas de janelas e portas: Como o oxigênio na localidade estará diminuindo a medida que o incêndio avança, as chamas na fumaça preta irão ter a tendência de procurar qualquer abertura que permita o contato com o oxigênio.

c) Rollover: Acontece o rebaixamento do plano neutro e há um aumento na turbulência da fumaça, bolas de fogo parecem “rolar” na densa fumaça preta.

Devido ao perigo associado aos flashovers é preciso que se saiba maneiras de preveni-lo. Flatley (2005) aponta duas maneiras: ventilação e resfriamento. A primeira é

²¹Esta é a tradução mais aceita do termo flashover

aquela em que ventilação horizontal ou vertical é aplicada de modo a não deixar que os gases acumulem-se no plano neutro e que a radiação não consiga ficar sendo retroalimentada ao sistema; no entanto é importante que os gases sejam direcionados para um local seguro, de tal maneira que a fumaça não invada compartimentos antes livres e para que não se formem focos secundários devido ao calor dos gases.

A segunda maneira seria resfriar a área com a água da mangueira. Apesar de ser ensinado em cursos de combate a incêndio que nunca se deve jogar água na fumaça, em algumas situações necessitam que isto seja feito. Quando os bombeiros identificarem a fumaça negra densa, que é um dos sinais indicativos do flashover, e não havendo chance de sair do local, a melhor coisa a fazer é abrir um jato de água na fumaça e resfriá-la, pois isto irá diminuir as chances do acontecimento de um backdraft.

Abaixo, algumas imagens de *flashover* retiradas da internet.

Figura 40: Flashover



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:

<<http://johnkennyauthor.com/wp-content/uploads/2013/10/flashover.jpg>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 41: Bombeiros se protegem em um flashover



Fonte: Site Fire Nation. Disponível em: <http://my.firefighternation.com/photo/flashover-suppression-sweden/next?context=user>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 42: Objetos entram em ignição em um flashover



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://vignette4.wikia.nocookie.net/powerlisting/images/3/34/Flashoverfire.jpg/revision/latest?cb=20130417154249>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

As imagens acima podem fornecer uma referência visual do perigo inerente a um flashover para o leitor que nunca tenha presenciado um.

9.2 Backdraft

Imagine um incêndio confinado em uma casa comum. À medida que o fogo se mantém aceso dentro da edificação, diminuirá a quantidade de oxigênio disponível no local, pois a reação de combustão o estará consumindo como comburente. Quando a quantidade de oxigênio não estiver mais nas proporções estequiométricas na combustão completa, ela começará a se processar de maneira incompleta, gerando, como já estudamos, monóxido de carbono (CO) em vez de dióxido de carbono (CO₂).

O material didático de combate a incêndio do CBMSC elenca o monóxido de carbono como um gás incolor, inodoro, com grande toxicidade e que possui um amplo espectro de explosividade, com limite inferior em 12,5% e o superior em 74% no ambiente, e entra em ignição a 605 °C – temperatura essa facilmente atingível em incêndios estruturais confinados.

A situação hipotética citada no primeiro parágrafo é bastante instável, pois todos os elementos necessários para a combustão estão presentes, exceto o comburente. Caso uma abertura forneça uma quantidade suficiente de oxigênio sem que os gases da combustão incompleta acumulados tenham sido retirados do local anteriormente, **poderá acontecer uma ignição repentina dos gases de maneira explosiva e com consequente deslocamento de ar.**

Flatley (2005) afirma que essa entrada súbita de ar pode ser tanto pela realização de uma entrada pelos combatentes do corpo de bombeiros ou até mesmo pela quebra de uma janela devido a pressão exercida pela fumaça.

Devido ao perigo de estar dentro ou próximo de um ambiente prestes a sofrer um *backdraft*, é preciso que se saiba os sinais da sua ocorrência. A apostila de combate a incêndio do CBMSC traz os seguintes:

a) Fumaça escura e densa em movimento de revolução pelo ambiente, que quando saindo por frestas o faz em forma pulsante. Isto ocorre porque o incêndio está numa condição limitada de oxigênio, o que faz com que os gases “procurem” qualquer fonte de oxigênio – e o faz pelas aberturas disponíveis nas janelas e portas. Já o pulsar da fumaça é devido a expansão dos gases combustíveis devido as pequenas combustões que estão acontecendo dentro do ambiente propenso ao *backdraft*.

b) Poucas chamas visíveis que surgem quando encontram o ar. Quando os gases confinados conseguem passar pelas frestas disponíveis e misturar-se com o oxigênio atmosférico, entram em combustão. No entanto a quantidade de comburente não é suficiente para fazer com que toda a massa se ignize. Em vista disso, as pequenas labaredas entram em combustão e logo se apagam.

c) Fluxo de corrente de ar para dentro do ambiente, intermitentemente. Isto acontece também de forma pulsante, devido a sucção de oxigênio para dentro do ambiente sinistrado.

d) Janelas enegrecidas. Isto ocorre em decorrência da fumaça negra extremamente densa que é formada antes do fenômeno, o que faz com que os vidros fiquem com um aspecto manchado.

e) Paredes, portas e maçanetas muito quentes. A temperatura dentro de um ambiente propenso ao *backdraft* será muito grande. Uma maneira empírica de determinar isto é aplicar jatos neblinados nestes locais, caso a água se evapore quase instantaneamente, então se deve considerar o risco de um *backdraft*.

f) Sons que parecem um assobio ou rugido. Isto ocorre devido a saída sob pressão dos gases de dentro da edificação e também pela sucção do oxigênio para dentro do ambiente.

g) Ausência de chamas. Em um ambiente com chances de sofrer um *backdraft* haverá pouca oferta de oxigênio e o mais provável é que não haja chama alguma, talvez só brasas. É preciso que se use o discernimento e se desconfie de ambientes que estejam muito quentes mas fogo visível algum.

h) Presença de uma substância parecida com óleo nas janelas. A fumaça que estará presente no ambiente tem entre seus componentes fuligem e vapor de água. A mistura destes dois elementos pode se condensar nas janelas e formar estes depósitos.

Segundo Flatley (2005), existe a chance de que exista um espaço de tempo considerável entre a abertura de uma porta ou janela e a ocorrência do fenômeno

propriamente dito. Geralmente o *backdraft* acontece poucos segundos após a admissão do oxigênio no ambiente, mas é importante que se saiba que não é só porque a explosão não aconteceu nos primeiros segundos que ela não vai mais acontecer. Por isso é muito importante que se faça rotas de saída para os gases o mais alto possível antes da entrada das guarnições no local.

Por fim cabe assinalar duas diferenças dos fenômenos de *flashover* e *backdraft*, trazidas por Flatley (2005). Enquanto o primeiro acontecerá na fase de desenvolvimento do incêndio, o segundo acontece no início e no fim do incêndio – que é quando a concentração de oxigênio estará menor.

A outra diferença é que o *flashover* é um fenômeno **induzido por calor**, o *backdraft* é induzido **pelo comburente**.

Figura 43: Backdraft



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://media.dma.mil/2007/Nov/17/158228/-1/-1/0/071117-m-1283d-013.jpg>. Acesso em 22 de agosto de 2015

Figura 44: Backdraft simulado



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: http://s3.amazonaws.com/rapgenius/1347040019_7-Backdraft.jpg. Acessado em 22 de agosto de 2015

Figura 45: Sequência mostrando um backdraft em andamento



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://www.firerescue-indonesia.org/images/image/backdraft.jpg>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

9.3 Boilover

Conforme já vimos em lições anteriores, os combustíveis líquidos não queimam em profundidade, somente em superfície. Apesar disso, o calor gerado aquece o líquido inteiro. O aquecimento pode provocar a aceleração da vaporização e do desprendimento de vapores inflamáveis do combustível, aumentando as chamas do incêndio.

Caso os bombeiros lancem água diretamente sobre o combustível, o excesso de água não vaporizado irá acumular-se no fundo do recipiente – uma vez que é mais densa - e sofrer um aumento de temperatura devido a troca de calor.

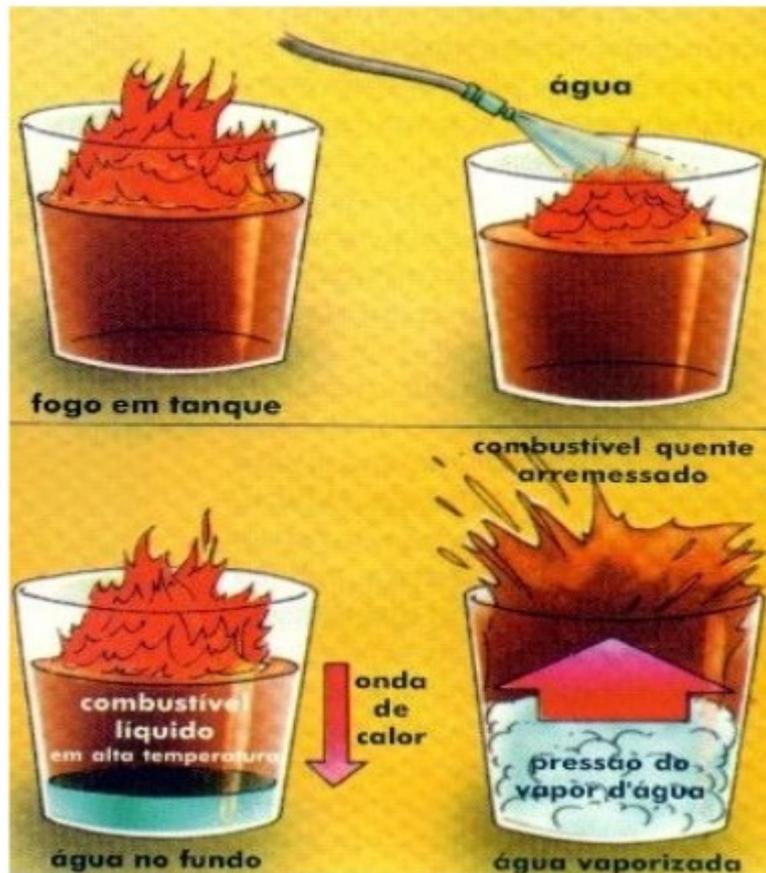
No momento em que a maior parte da massa de água no fundo do recipiente atingir sua temperatura de ebulição, será formada uma corrente ascendente de vapor d'água que irá tender a escapar do líquido. No seu caminho para fora, a bolha de vapor irá empurrar para cima todo combustível que estiver em seu caminho, fazendo com que ele seja espalhado por uma grande área e possivelmente gerando outros focos de incêndio.

Laport (2015, p. 30) define o *boilover* como “[...] uma violenta e inesperada projeção de gotículas em chamas do fluido combustível devido à abrupta evaporação de água acumulada no fundo do tanque. Como resultado, tem-se uma ampliação do incêndio e a formação de uma enorme bola de fogo sobre o tanque”.

O autor ainda afirma que, mesmo que a água não atinja sua temperatura de ebulição, ainda há riscos. Pois a água pode causar o transbordamento do líquido inflamável – o que também poderá causar o espalhamento das chamas para locais antes não atingidos pelo fogo. Até mesmo a utilização do líquido gerador de espuma – LGE – pode ocasionar um evento de *boilover* pois contém água residual.

A seguir, algumas imagens de *boilovers*.

Figura 46: Desenvolvimento de um boilover



Fonte: CBMSC(2014)

Figura 47: Boilover captado por câmeras de alta definição



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://i.ytimg.com/vi/mD4v8z4jfYw/hqdefault.jpg>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

Figura 48: Boilover em pleno desenvolvimento



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://i.ytimg.com/vi/0JDCVCGnUSs/hqdefault.jpg>>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

É importante mostrar que o *boilover* não se restringe a acidentes domésticos. Como se pode ver acima, existem *boilovers* de grandes proporções.

9.4 BLEVE

Imagine que um líquido, inflamável ou não, está confinado em um recipiente fechado. Agora imagine que uma fonte de energia calorífica comece a esquentar o conteúdo do recipiente. Uma série de equilíbrios físico químicos irão se estabelecer, gerando uma mistura de líquido e vapor numa proporção dada pela Lei de Raoult. A presença adicional deste gás ou vapor irá aumentar a pressão interna do vasilhame.

Se essa pressão aumentar a tal ponto que a resistência do recipiente não consiga mais contê-la, então haverá um rompimento no receptáculo e o vapor e/ou líquido irá escapar com violência, pondo a perigo quem estiver por perto.

Um rompimento de grander proporções irá ocasionar uma grande onda de impacto e calor. Caso o rompimento seja pequeno, ocorrerá simplesmente a liberação do gás até que a pressão interna se equalize com a externa.

Ainda que o líquido contido dentro do recipiente não seja inflamável, ainda assim a explosão pode ser muito perigosa. Dehaan (2012, p. 517) informa que explosões envolvendo aquecedores a gás são conhecidas por já terem destruído casas.

Segundo Dehaan (2012), um dos sinais que podem indicar que um **BLEVE** aconteceu é a seguinte: quando um recipiente contendo um líquido é exposto ao calor, o líquido no interior em contato com o receptáculo irá absorver parte do calor por condução, enquanto que a parte do recipiente que estava somente em contato com o gás não sofrerá essa perda de calor. Isto pode resultar em uma marca no exterior do receptáculo que irá indicar a posição do líquido antes do acontecimento.

O autor ainda menciona que é uma boa prática utilizar água para resfriar o recipiente para prevenir que o aquecimento continue gerando gases que irão aumentar a pressão interna e aumentar o risco de explosão. Mas **nunca** deve-se utilizar jatos compactos ou jatos em um único ponto por muito tempo, pois isto pode ocasionar o enfraquecimento do material.

Figura 49: BLEVE em um tanque de combustível



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://www.ingenieriadepetroleo.com/wp-content/uploads/2012/11/bleve1.png>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 50: BLEVE impulsiona os gases inflamáveis com grande velocidade para fora



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://www.ambirk.com/02-2%20corner%201.jpg>>. Acessado em 22 de agosto de 2015

Mais do que simples rompimentos de receptáculos de gás GLP, os fenômenos de BLEVE podem chegar a proporções catastróficas, como mostra a imagem acima.

Capítulo 10 – Evolução Típica de Incêndios

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de início de um incêndio, de acordo com a lição;
- 2) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de crescimento de um incêndio, de acordo com a lição;
- 3) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de crescimento à flashover de um incêndio, de acordo com a lição;
- 4) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de pós flashover de um incêndio, de acordo com a lição;
- 5) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de decrescimento de um incêndio, de acordo com a lição;
- 6) Citar pelo menos três influencias que o ambiente pode ter em um incêndio típico.

Incêndios em compartimentos com uma carga normal de combustíveis – ou seja, tudo o que é passível de incendiar-se no local, desde as estruturas até o mobiliário – passam por estágios previsíveis durante sua existência. Aragão (2010, p. 127) aponta que tirando a mudança de cenário, quando for o caso, os incêndios distinguem-se pelo agente ígneo, pela forma como ocorreu a instalação do fogo, como se desenvolveu e foi extinto. A duração de cada fase vai variar com as características de cada fenômeno, como por exemplo as circunstâncias relativas à ignição, o tipo de combustível e a presença ou não de ventilação.

A partir de agora vamos tratar de maneira pormenorizada sobre cada uma destas fases.

10.1 Início

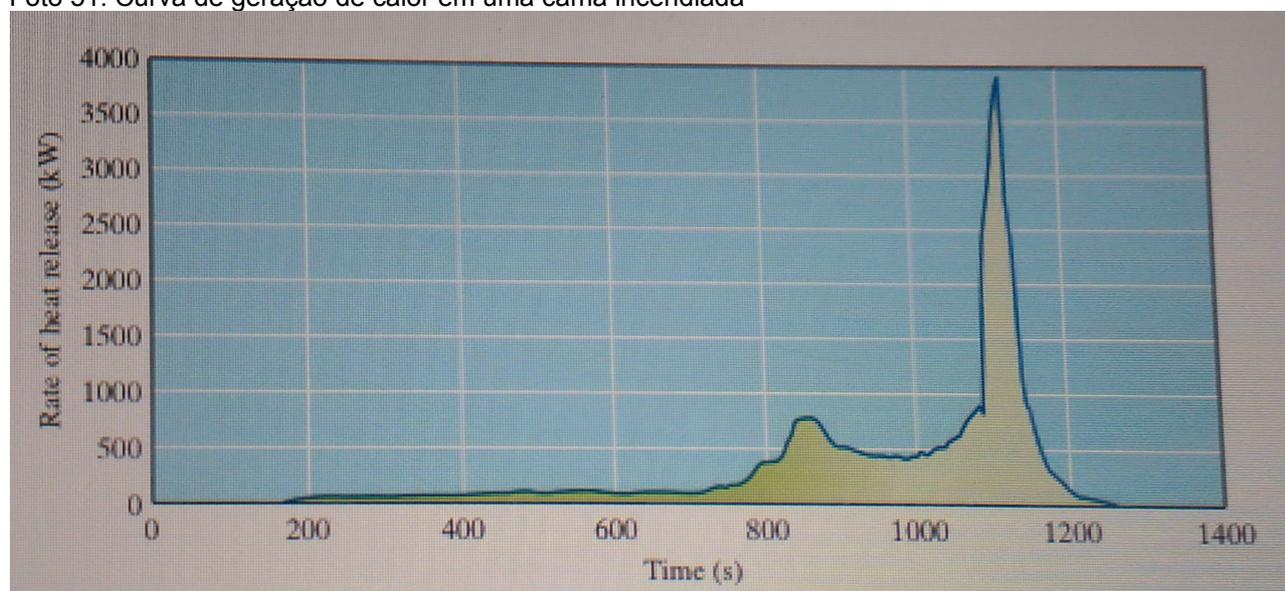
É a primeira fase de desenvolvimento do fogo e se inicia no momento da ignição. As chamas estão restritas ao combustível que primeiro se ignizou. A quantidade de

oxigênio é normal – cerca de 21% no ar atmosférico – e a temperatura do compartimento ainda é praticamente a mesma.

Dehaan (2012) afirma que a composição dos gases da combustão irá depender de qual é o combustível, mas de maneira geral se tem fuligem, vapor d'água, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e também traços de outros gases perigosos.

As redes de convecção levam os gases e o calor para as partes mais altas do local e sugam oxigênio pela base do foco de incêndio, de modo a manter a reação. Dehaan (2012, p. 55) aponta que “um incêndio incipiente²² tem uma taxa de geração de calor tão baixa que a na maioria das vezes as temperaturas não serão mensuravelmente afetadas”.

Foto 51: Curva de geração de calor em uma cama incendiada



Fonte: Dehaan (2012)

Perceba que a taxa de liberação de calor por mais 750 segundos foi de menos de 100 kW, corroborando a informação que fornecemos acima.

10.2 Crescimento

O fogo vai ficando mais intenso a medida que mais combustíveis vão participando do incêndio. Dehaan (2012) explica que as formas de transmissão de calor de convecção e radiação espalham as chamas para cima e para fora do foco inicial do incêndio até que outros combustíveis próximos começam a atingir seus pontos de ignição, o que acaba por

²²É um outro nome para a fase inicial do incêndio

causar o espalhamento lateral do fogo, sendo que a velocidade com que isto acontece vai depender do quão perto estão os outros materiais e também de como estão dispostos.

Obviamente que, quanto mais próximos os outros materiais, mais rápido irá se espalhar o incêndio e aumentará a taxa de liberação de calor. No entanto, Dehaan (2012, p. 56) leciona que até que o fogo atinja proporções moderadas – por volta da liberação de calor de 200 kW – a radiação de calor não terá grandes efeitos, sendo neste momento mais importantes as transferências por convecção e contato direto com as chamas.

O autor prossegue explicando que nesta fase há a geração de uma camada de fumaça próxima ao teto do local onde o incêndio começou, sendo que esta camada tem sua temperatura elevada a medida que a reação de combustão continua, mais calor é liberado e mais gases aquecidos vão se acumulando.

Esta camada estará em elevada temperatura, pobre em oxigênio e, conforme expõe Dehaan (2012), será composta de fuligem, fumaça e produtos da pirólise dos produtos – incluindo produtos tóxicos como o monóxido de carbono, ácido cianídrico, ácido clorídrico e radicais livres. Já a fumaça próxima ao foco ainda estará relativamente rica em oxigênio e a temperaturas mais amenas. Há grandes chances de sobrevivência nesta camada, desde que não se respire os gases presentes nas mais altas.

No entanto, a camada mais alta vai ganhando cada vez mais volume ao longo da combustão, ficando cada vez mais próxima do solo – com conseqüente aumento da temperatura geral do ambiente. Caso a camada chegue ao nível do fogo, é provável que se extinga qualquer chama pois haverá uma redução drástica da disponibilidade de oxigênio para manter as chamas.

A massa de gases combustíveis, fuligem e fumaça se acumulará, geralmente até que um dos combustíveis presentes atinja a temperatura de ignição ou pelo calor acumulado ou pelo contato com as chamas do foco principal. Segundo Dehaan (2012), este processo é conhecido como **flameover** ou **rollover**. A frente de queima da camada pode atingir de 3 a 5 m/s – essa elevação súbita da temperatura faz com que a camada de gases se expanda, ocupando ainda mais o espaço em que está presente. Dehaan (2012) aponta que testes mostraram que flameovers que aconteceram em residências fizeram com que as chamas tomassem completamente a sala de estar da casa – do chão ao teto – em apenas 7,5 segundos, fazendo com que os bombeiros tivessem que bater em retirada.

10.3 Crescimento à Flashover

Ainda que o fenômeno do flameover não aconteça, o calor radiante emanado pela camada de gases aquecidos no teto está atingindo todos os materiais dentro do compartimento à uma taxa que irá depender da temperatura da camada. Dehaan (2012) afirma que, quando ela atingir uma **temperatura crítica de aproximadamente 600 °C**, estará gerando aproximadamente 20 kW/m² de calor radiante. Esta taxa de liberação de calor é suficiente para elevar quase todos os combustíveis às suas temperaturas de ignição – fazendo com que todo o local seja envolvido em chamas. Este estado, como já estudamos, é conhecido como **flashover**.

Uma vez atingido este estágio, todos os combustíveis disponíveis estarão ignizados, as temperaturas terão atingido seu máximo e a sobrevivência por mais de alguns segundos é impossível.

Dehaan (2012) explica que a medida que cada elemento presente entra em combustão, emitirá radiação a uma determinada taxa que é uma função de sua temperatura, do seu arranjo e até mesmo de como entrou em ignição. A soma destas contribuições individuais vai aumentando a temperatura da camada próxima ao teto – a qual está continuamente perdendo calor para o ambiente. Quando calor suficiente é disponibilizado em um tempo pequeno, poderá acontecer o flashover. Dehaan (2012, p. 59) aponta a quantidade de calor fornecida por alguns itens comuns em residências. Os dados estão apresentados na tabela abaixo.

Quadro 12: Taxa de liberação de calor de alguns itens comuns

Combustível	Taxa de liberação de calor
Cadeira	150 a 700 kW
Sofás	250 a 3000 kW
Colchões	150 a 2800 kW
Árvores de Natal	800 a 1600 kW
Estante com 100 VHS	800 kW
Uma poça com 1,9 L de querosene	900 a 1000 kW

Fonte: Dehaan (2012)

Após um evento flashover a quantidade de oxigênio disponível cai drasticamente e aumenta a quantidade de monóxido de carbono no ambiente.

Um ambiente termicamente isolado é mais propenso a reter calor suficiente para possuir um incêndio plenamente desenvolvido do que um com paredes e teto

extremamente condutores. Segundo Dehaan (2012), nem todos os incêndios atingem o flashover. Se as aberturas para aeração do fogo forem muito pequenas, não haverá oxigênio suficiente para que ele cresça completamente. Se forem muito grandes, o fogo terá que ser muito forte de modo a a sobrepor as perdas de calor e para formar a camada de gases aquecidos necessários para a formação do flashover – se a camada nunca atingir a temperatura crítica não haverá flashover.

10.4 Pós Flashover

Atingido o estágio pós flashover, todos os combustíveis continuarão a queimar enquanto houver disponibilidade de comburente ou até que tenham sido completamente comburidos. A quantidade de calor não é mais limitada por quantos combustíveis estão liberando energia, porque tudo está em chamas. O tamanho do fogo agora é definido pela quantidade de ar que pode entrar no ambiente e alimentar as chamas. Dehaan (2012, p. 61) informa que o tamanho será determinado pelos fluxos ascendentes de gases quentes dentro e fora do local. A relação matemática que modela este processo é dada por

$$Q_{\text{máx}} = \Delta H_{\text{ar}} \times m_{\text{máx}} = 3000(0,5A_o(h_o)^{0,5}) = 1500A_o(h_o)^{0,5}$$

Em que ΔH_{ar} é de 3000 kJ/kg, $m_{\text{máx}}$ é a convecção máxima, A_o é a área da abertura em m² e h_o é a altura em m. Uma porta simples – 80 cm de largura e 2 m de altura – fornece ar suficiente para sustentar um incêndio de 3 MW em um compartimento.

10.5 Decaimento

Eventualmente, a quantidade de combustível disponível é exaurida e a queima com chamas vai se tornando mais e mais improvável, devido a quantidade cada vez menor de oxigênio. Assim, predomina o incêndio *smoldering*²³, que continuará enquanto houver material disponível para queimar. De acordo com Dehaan (2012), as temperaturas podem continuar altas se houver material inflamável e isolamento térmico adequado.

Se não forem tomadas as devidas precauções, os gases gerados durante esta fase podem gerar as condições necessárias para o acontecimento do *backdraft*, o qual já estudamos.

²³É o incêndio sem a presença de chamas

Essa sequência não acontece em todos os incêndios. Alguns incêndios já podem iniciar de modo *smoldering* até chegar a um ponto em que a temperatura e a taxa de liberação de calor são suficientes para começar um incêndio com chamas. **Assim, o smoldering não deve ser considerada uma fase final dos incêndios.**

Figura 52: Fase de início das chamas



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 53: Fase de crescimento



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 54: Fase de crescimento a flashover



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 55: Fase de pós flashover



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 56: Fase de decaimento



Fonte: Dehaan (2012)

As imagens acima mostram um incêndio com cada uma de suas fases típicas, da eclosão ao decaimento.

10.6 Influência das condições ambientais

É inegável que as condições ambientais influenciam no desenvolvimento e na propagação de um incêndio. Qual será o papel que a temperatura, a umidade, o teor de umidade do combustível, ventos e a concentração de oxigênio nos incêndios? Veremos a seguir.

10.6.1 Temperatura

Com todos os outros fatores mantidos constantes, é mais provável que incêndios de proporções maiores se desenvolvam em um dia quente do que em um dia frio. Isto se deve, basicamente, por causa de dois fatores. Primeiro: o calor, como todos sabem, desidrata. Logo, os combustíveis em um dia quente já estarão mais secos do que em um dia com clima mais ameno, fazendo com que a ignição seja mais rápida e fácil.

Segundo: como já estudado em capítulo anterior, a taxa da reação de combustão praticamente duplica a cada aumento de 10 °C. Com a lembrança desta “propriedade” da reação, é fácil perceber que os incêndios se processarão muito mais rápido em suas **fases iniciais** em um dia quente. De acordo com Dehaan (2012), nas fases plenamente desenvolvidas do incêndio não se percebe influências significativas da temperatura do ambiente.

No entanto, as variações de temperatura no interior das habitações tem pouca influência na grande maioria dos incêndios porque essas variações quase nunca são grandes o suficiente para fazer alguma diferença. O supracitado autor ainda menciona que a temperatura antes do início da eclosão do foco inicial pode ter influência em vários aspectos, como o pré aquecimento dos combustíveis, a pressão de vapor em combustíveis líquidos ou até mesmo a distribuição dos vapores – sendo por isso muito importante que o investigador tenha em mente a temperatura ambiente do local no dia, e se possível na hora, do incidente.

10.6.2 Umidade

Quando dizemos “umidade” estamos nos referindo a quantidade de vapor d'água contido no ar. A quantidade de umidade no ar é uma função da temperatura: em dias mais quentes o ar pode conter mais umidade e, em dias mais frios, menos. Existem dois tipos

de umidade: a absoluta e a relativa. Para a investigação de incêndio estamos mais interessados na segunda, pois se refere a percentagem de saturação de umidade no ar que realmente está presente. Por exemplo, uma umidade relativa de 50% quer dizer que o ar contém metade da saturação que consegue ter para aquela determinada temperatura. Caso haja um aumento súbito da temperatura sem modificarmos as condições de umidade, perceber-se-á que a umidade relativa irá diminuir, mas a quantidade de água será a mesma.

Empiricamente se percebe que em dias mais quentes e secos há maiores chances de incêndios se deflagrarem do que em dias úmidos ou chuvosos.

Dehaan (2012) ainda menciona que um outro efeito raramente creditado à umidade são os arcos elétricos resultantes de descargas eletrostáticas e pelas pequenas faíscas produzidas pela fricção de materiais – como quando batemos uma faca na beirada de uma pedra. A eletricidade estática tende a se acumular mais em dias secos do que em dias mais molhados, uma vez que nestes últimos a eletricidade tende a dissipar-se pela umidade e raramente se consegue chegar ao valor necessário para um arco visível. Já sobre as faíscas é notório que o ar seco conduz calor de maneira menos eficiente, desse modo as faíscas conseguem manter sua temperatura por mais tempo. Essas faíscas conseguirão iniciar o processo de ignição mais facilmente em combustíveis secos do que nos molhados.

O mesmo autor ainda afirma que esses efeitos da umidade sobre o desenvolvimento do fogo são mais marcantes nos estágios iniciais dos focos de incêndio, pois nos incêndios já plenos a umidade relativa do ar terá pouco ou nenhum efeito sobre o desenvolvimento das próximas fases.

10.6.3 Umidade contida no combustível

Segundo Dehaan (2012), cada 1 grama de água precisa de um calor de 4,4 kJ para ser evaporada e é este o motivo pelo qual combustíveis com umidade interna precisam de mais calor para entrarem em ignição do que aqueles secos. A umidade estudada no tópico anterior não deve ser confundida com a que estamos tratando agora, pois são coisas diferentes.

O orvalho matinal, ou até mesmo uma neblina densa, tendem a formar camadas de água sobre as superfícies que estão em contato, dificultando o processo de combustão delas. Entretanto, os combustíveis que estão úmidos por dentro devido a absorção são

ainda mais difíceis de queimar do que aqueles que apenas possuem uma película de orvalho.

Testes realizados pelo *California Bureau of Home Furnishings* em árvores de natal secas produziram emissões de calor máximas na faixa de 800 kW. Uma árvore similar intensamente umidificada antes do teste teve uma emissão máxima da ordem de cerca de 200 kW apenas.

De acordo com Dehaan (2012), o efeito da umidade nos combustíveis é o mesmo, sejam eles sólidos com água interna presente ou materiais orgânicos mais complexos como a gordura ou carne – as quais contém H₂O em suas estruturas. Como todos já tivemos o prazer de provar em churrascos, carne pode sim queimar desde que a água interna seja evaporada antes.

Os efeitos da água no incêndio são a base do combate a incêndio executado pelos corpos de bombeiros. Se um excesso de água for fornecido ao fogo e a quantidade de calor não for suficiente para evaporá-la, o incêndio será finalizado dentro de pouco tempo pois a temperatura será abaixada a tal ponto que a reação será interrompida. Como já estudamos, os incêndios classe D – metais pirofóricos – não podem ser combatidos com água pois geram hidrogênio, um **excelente** combustível.

10.6.4 Vento

Os ventos geralmente só são considerados como fator de dispersão em incêndios em vegetação, mas eles podem sim ter papel preponderante em incêndios estruturais, principalmente após a destruição de janelas. Dehaan (2012) afirma que portas podem ser fonte de correntes de ar que aumentam o espalhamento horizontal dos focos de incêndio por compartimentos antes não atingidos e ventos provenientes das janelas podem ser ainda mais nocivos.

Dehaan (2012, p. 68) informa que testes recentes realizados pelo NIST demonstraram que mesmo ventos moderados entrando por uma janela de uma edificação de grande altitude podem induzir grandes aumentos na temperatura e nos fluxos de calor no compartimento em que se iniciou o incêndio e concorrer para a dispersão de fumaça e gases quentes para os adjacentes.

O vento, como todos sabemos, é um excelente secador. Grandes temperaturas, baixas umidades relativas e ventos fortes são uma fórmula quase certa para incêndios florestais de grandes proporções. É importante reforçar que o investigador deve estar

atento para levar em consideração as condições de vento, temperatura e outras condições ambientais que estavam presentes no momento do incêndio.

10.6.5 Concentração de Oxigênio

A maioria dos incêndios irá se dar em ambientes com concentrações normais de oxigênio no ar atmosférico, o qual já vimos que possui aproximadamente 21% de O₂. Concentrações menores do que 15% irão retardar a ignição e o crescimento do fogo. De acordo com Dehaan (2012), concentrações ainda menores, na faixa de 10%, tornarão a combustão com chamas impossível – exceto na fase pós flashover -, mas incêndios *smoldering* poderão se propagar com até 3% de oxigênio na atmosfera. Concentrações elevadas irão elevar drasticamente a capacidade de combustíveis se ignizarem, mesmo por fontes de ignição fracas.

A transição de incêndios sem a presença de chamas para com a presença de chamas é incrivelmente rápida em ambientes ricos em oxigênio. Dehaan (2012, p. 69) relata que houve o caso de um fumante que usava oxigênio suplementar descobriu da pior forma que mesmo a brasa de um cigarro poderia rapidamente induzir a ignição de roupas e roupas de cama, com consequências trágicas.

Capítulo 11 – Combustíveis

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Definir quais são as funções de estado dos combustíveis, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Elencar pelo menos três propriedades físicas dos combustíveis e explicar a sua importância, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Citar, pelo menos, três formas pelas quais é possível determinar a temperatura aproximada de um incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição;

11.1 Funções de estado dos combustíveis

Segundo leciona Aragão (2010, p. 98), a combustão está regulada pelos parâmetros os quais ele chama de “funções de estado dos combustíveis”, os quais são o ponto de fulgor, o ponto de combustão e o ponto de ignição.

O **ponto de fulgor** é a temperatura mínima na qual os combustíveis começam a liberar vapores que, quando em contato com algum comburente – como o oxigênio –, e uma fonte externa de calor podem gerar uma rápida queima que logo se extingue devido a ausência de quantidade apreciável de mistura inflamável.

O **ponto de combustão** é a temperatura mínima na qual os gases e vapores despreendidos dos combustíveis, quando misturados com um comburente e uma fonte externa de calor, entram em combustão e assim se mantêm até que um dos elementos tenha acabado (fonte externa de calor, combustível ou comburente). Aragão (2010, p. 99) aponta que “no geral, o ponto de combustão situa-se em torno de 5 °C acima do ponto de fulgor”.

O **ponto de ignição** é a temperatura mínima na qual os gases e vapores despreendidos dos combustíveis já não precisam mais de fontes externas de calor. Eles estão a uma temperatura tal que, conseguem entrar em combustão pelo simples contato com o oxigênio existente no ar.

Quadro 13: Pontos de fulgor e de ignição de algumas substâncias

SUBSTÂNCIA	PONTO DE FULGOR (°C)	PONTO DE IGNIÇÃO (°C)
Acetona	-17,7	538

SUBSTÂNCIA	PONTO DE FULGOR (°C)	PONTO DE IGNIÇÃO (°C)
Acetileno	Gás	335
Ácido acético	40	426
Ácido cianídrico	17,7	538
Álcool etílico	12,6	371
Metanol	11,1	426
Amônia	Gás	650
Anilina	75	538
Asfalto	204	484,5
Benzeno	11,1	538
Bissulfeto de carbono	30	100
Cânfora	83	466
Enxofre	207	232
Éter	-45	180
Fenol	79,5	714
Gás de rua	Gás	589
Gás sulfídrico	Gás	260
Gasolina	-42	257
Glicerina	160	392
Hidrogênio	Gás	548,5
Monóxido de carbono	Gás	650
Óleo de linhaça	222	343
Parafina	199	245
Querosene	50	250
Tolueno	4,4	553
Madeira	150/160	270/300

Fonte: Aragão (2010)

A tabela mostra que algumas substâncias muito fáceis de se obter como a gasolina, o éter e a acetona, liberam vapores inflamáveis a temperatura ambiente, tornando-se possíveis fontes de incidentes caso não estejam devidamente armazenados.

11.2 Propriedades Físicas dos Combustíveis

11.2.1 Pressão de Vapor

Quando líquidos são expostos à atmosfera eles tendem a evaporar. Isto acontece com qualquer líquido. No entanto, se isto acontece em um recipiente fechado a tendência será a de se estabelecer um equilíbrio e a partir deste ponto não haverá mais evaporação. Poderia apostar que o leitor já viu isto antes e, talvez, nem se deu conta. Um ótimo exemplo do dia a dia é de quando uma garrafa de refrigerante é aberta, consumida até a metade e depois guardada. Quando vamos nos servir novamente é perceptível que a garrafa está mais rígida.

Isto acontece porque o gás do refrigerante foi escapando do líquido e começou a se acumular no espaço vazio até o ponto que não havia mais espaço para onde outras moléculas de gás ficassem, tendo neste momento o equilíbrio sido estabelecido. A rigidez que se sente ao tentar apertar a garrafa é a pressão exercida pelo gás contra as paredes do recipiente.

Esta pressão exercida pelas moléculas do gás que conseguiram escapar, no exemplo acima, é chamada de **pressão de vapor saturada** – a qual é medida geralmente em milímetros de mercúrio (mmHg) ou em quilo Pascal (kPa). Dehaan (2012) define a pressão de vapor como a medida do quão volátil é um líquido e depende do seu peso molecular, estrutura química e temperatura.

Quanto maior é a temperatura de um líquido, mais vapor conseguirá escapar e, por consequência, maior será a sua pressão de vapor.

Dehaan (2012, p. 87) informa que para uma determinada classe de compostos – como alcanos, alcoóis e alcanos ramificados – quanto menor o peso molecular, maior será a pressão de vapor; sendo que a pressão de vapor de um composto aromático ou de um alcano de cadeia normal é menor do que o de um alcano ramificado de mesmo peso molecular na mesma temperatura.

A pressão de vapor é muito importante quando consideramos a influência que tem na inflamabilidade de um líquido. Quando um líquido atinge 760 mmHg (ou 1 atm) dizemos que ele **atingiu sua temperatura de ebulição e esta é considerado seu limite inferior de inflamabilidade**, o líquido encontra-se no **ponto de fulgor** – o qual estudamos na seção anterior.

Dehaan (2012, p. 88) ainda aponta que a forma da superfície do líquido também influencia na sua pressão de vapor, sendo que as mais alta para as superfícies convexas que para as de superfície plana, a mesma temperatura.

11.2.2 Limites de inflamabilidade

Os vapores inflamáveis que são liberados pelos combustíveis, quando misturados com o ar atmosférico, só irão comburir quando estiverem dentro de uma determinada faixa de concentração. Quando os vapores ou gases estiverem com concentração abaixo de seu **limite inferior de inflamabilidade**, a mistura é considerada muito pobre para entrar em combustão e não consegue se ignizar.

Se as concentrações dos vapores estiver acima do seu **limite superior de inflamabilidade**, então a mistura é considerada muito rica e também não irá ignizar.

Aragão (2010, p. 95) explica o porquê da não existência da combustão fora dos limites de inflamabilidade, conforme reproduzimos abaixo:

Durante a formação da mistura inflamável ou explosiva, acontecem diferentes concentrações. Para haver combustão, a condição determinante é que os gases ou vapores estejam dosados dentro de determinadas proporções com um comburente, como o oxigênio atmosférico. A combustão é uma reação química, razão pela qual a proporção entre combustível e comburente é estequiométrica – obedece à lei das proporções constantes das reações químicas, definindo um intervalo ou faixa de concentração dentro da qual a combustão ocorre, denominada *faixa de inflamabilidade*, cujos extremos são chamados de *limite inferior de inflamabilidade – LII* e a temperatura a ele associada é chamada de *ponto inferior de inflamabilidade*, e o *limite superior de inflamabilidade – LSI* e a temperatura a ela associada é chamada de *ponto superior de inflamabilidade*. Ao entorno desses extremos, temos, respectivamente, a *mistura pobre* e, acima, a *mistura rica*.

Conforma apontado na seção anterior, os limites de inflamabilidade são influenciados pela pressão de vapor. Dehaan (2012, p. 90) traz em seu livro que

Considerações sobre a pressão de vapor tem um papel crítico na avaliação de incidentes em que uma chama próxima a um recipiente parcialmente cheio de um líquido inflamável é apontada como responsável por ter causado uma explosão. [...] A pressão de vapor do pentano (o componente mais volátil da gasolina automotiva) é, em sua saturação, muito acima de seu limite superior de explosividade (8%) para qualquer temperatura razoável (acima de -20 °C). Isso significa que se houver uma quantidade significativa de líquido em um recipiente e um tempo razoável se passou, a concentração de vapores dentro do recipiente estará muito rica para conseguir sustentar uma combustão. Uma chama pode ser feita na boca do vasilhame se houver quantidade suficiente de vapores saindo para se misturarem com o ar circundante, mas não haverá explosão. (O aquecimento de um vasilhame fechado contendo líquido pode causar uma

explosão mecânica se o calor for suficiente para criar pressão de vapor que ultrapasse a resistência mecânica do vasilhame [...].

Abaixo apresentamos os limites de inflamabilidade de algumas substâncias.

Quadro 14: Limites de inflamabilidade de algumas substâncias

SUBSTÂNCIAS	LIMITES DE INFLAMABILIDADE (% volumétrica no ar atmosférico)
Metano	5 – 15
Benzeno	1,2 – 8
Éter etílico	1,7 – 36
Álcool etílico	3,5 – 15
Dissulfeto de carbono	1 – 60
Hidrogênio	4 – 75,6
Acetileno	1,5 – 82
Butano	1,5 – 8,5
Propano	2,1 – 9,5
Gás natural	5 – 35
Metanol	16,7 – 36
Acetona	2,6 – 13
Monóxido de carbono	12,5 – 74
Tíner	0,8 – 6
Querosene	0,7 - 5

Fonte: Aragão (2012) e Daéid (2004)

Percebe-se que os gases combustíveis, por já estarem prontos para se misturarem desde logo com o oxigênio atmosférico – sem precisar passar pela pirólise ou pela vaporização – são muito mais sensíveis, variando pouco em seus limites.

11.2.3 Energia de Ignição

Para que um combustível possa entrar em combustão é necessário que uma quantidade mínima de energia, que varia de material para material, seja transferida para iniciar a reação. **Isto é conhecido como energia de ignição.** Para a maior parte dos combustíveis essa energia é muito pequena; Dehaan (2012, p. 97) inclusive aponta que para combustíveis da classe dos hidrocarbonetos, a energia de ignição pode chegar a 0,25 milijoules (mJ).

Citamos novamente Dehaan (2012, p. 97-98) que aponta quatro fatores determinantes para que uma mistura vapor/ar possa se ignizar. São elas: a fonte de ignição deve ter uma quantidade de energia suficiente (acima da energia mínima de ignição do combustível); o combustível deve estar em uma concentração que esteja dentro de seus limites de inflamabilidade; precisa haver contato entre a fonte de ignição e o combustível; e o contato deve durar tempo suficiente para que a energia mínima de ignição seja transferida ao combustível.

A não ser que estes quatro componentes estejam presentes não haverá ignição.

O supracitado autor ainda aponta em sua obra que várias propriedades de inflamabilidade estão interligadas. Um exemplo fornecido é que a energia de ignição de um combustível é dependente de sua concentração. Isto infere que uma fonte bastante energética pode ignizar misturas próximas aos seus limites de inflamabilidade enquanto que outras mais fracas só conseguem induzir a ignição de misturas próximas da estequiometria perfeita.

11.2.4 Densidade do vapor

Segundo Daéid (2004) esta é a propriedade de um vapor que prevê o seu comportamento quando for liberada no ar. Ela é definida como a densidade do vapor em relação a densidade do ar e é calculada dividindo o peso molecular pelo do ar – aproximadamente 29 g/mol.

Dehaan (2012, p. 99) aponta que os gases e vapores que possuem uma densidade de vapor maior que 1,0 serão mais pesados que o ar e terão a tendência de se assentar no ambiente em que foram liberados até que encontrem um obstáculo, como o chão, quando então se espalharão da mesma maneira que aconteceria como um líquido.

De maneira inversa, vapores e gases mais leves tendem a subir até que encontrem um obstáculo, como o teto, e também se espalhem neste nível.

Quadro 15: Densidade de vapor de algumas substâncias

COMBUSTÍVEL	DENSIDADE DO VAPOR (a temperatura e pressão normais)
Hidrogênio	0,07
Metano	0,55
Acetileno	0,90
Monóxido de carbono	0,97

Etano	1,03
Propano	1,51
Butano	1,93
Acetona	2,00
Pentano	2,50
Hexano	3,00

Fonte: Dehaan (2012)

É claro que alguma mistura acontecerá entre determinado gás e o ar atmosférico e um modo particularmente importante pelo qual os gases se misturam é por um processo conhecido como **difusão**. **Todos** os gases tem a tendência de se difundirem uns nos outros sempre que uma oportunidade aparece.

Sobre a difusão de gases, Dehaan (2012, p. 100) aponta que

Diferenças nas taxas de difusão dos gases dependem de suas densidades de vapor: quando um vapor é muito mais pesado que o ar ($V.D \gg 1,00$), a sua taxa de difusão será muito menor que quando a densidade é mais próxima do ar em que está se difundindo, ou seja, próximo de 1,00. A difusão de vapores é um próximo extremamente lento. Em um recipiente fechado, a difusão do vapor irá eventualmente produzir uma distribuição uniforme depois de algumas horas. Em um sistema aberto como um quarto, a difusão de vapores de um líquido volátil não produzem uma distribuição uniforme, mas sim um gradiente de concentrações que vão desde o muito concentrado [...] até o muito pouco [...].

O mesmo autor ainda aponta que em um incêndio, a densidade de vapor e a taxa de difusão que irão impactar o início da ignição serão o dos mais voláteis. Um exemplo dado é a gasolina, que possui em sua composição uma ampla gama de compostos, entre os quais o n-decano, que tem uma pressão de vapor baixa a temperatura ambiente e um ponto de fulgor grande. É o isobutano e o n-pentano que geram os vapores perigosos a temperatura ambiente. Os componentes mais pesados como os xilenos não contribuem de maneira significativa até que tenham se passado muitos minutos, tempo este suficiente para que os componentes mais leves já tenham se ignizado.

11.2.5 Inércia Termal

Esta propriedade é trazida por Daéid (2004) em sua obra. A facilidade com que um determinado material será ignizado irá depender do quão rápido a temperatura da superfície consegue aumentar após ser exposta a uma fonte de calor. Energia calorífica será transferida da parte aquecida para a parte mais fria do material a uma taxa que irá

dependem da diferença de temperatura, das propriedades físicas de condutividade térmica, da densidade e também do calor específico do material. **Estas três propriedades irão fornecer a inércia termal.** Observe a tabela abaixo

Quadro 16: Inércia termal de algumas substâncias

MATERIAL	CONDUTIVIDADE DE TÉRMICA (W/m.K)	DENSIDADE (Kg/m ³)	CAPACIDADE TÉRMICA (J/Kg.K)	INÉRCIA TÉRMICA (WJ/m ⁴ K ²)
Cobre	387	8940	380	1,31 x 10 ⁹
Concreto	0,8 – 1,4	1900 – 2300	880	1,33 x 10 ⁶ até 2,02 x 10 ⁶
Gipsita	0,48	1440	840	5,8 x 10 ⁵
Carvalho	0,17	800	2380	3,8 x 10 ⁵
Pinho (amarelo)	0,14	640	2850	2,5 x 10 ⁵
Polietileno	0,35	940	1900	6,2 x 10 ⁵
Poliestireno	0,11	1100	1200	1,4 x 10 ⁵
PVC	0,16	1400	1050	2,3 x 10 ⁵
Poliuretano	0,034	20	1400	9,5 x 10 ³

Fonte: Daéid (2004)

A inércia termal pode ser traduzida matematicamente pela expressão

$$I = kpc$$

em que k é a condutividade termal (W/m.K), ρ é a densidade (kg/m³); e c é a capacidade térmica (J/Kg.K)

Dáeid (2004) alerta que a inércia termal não se mantém estática durante um incêndio, uma vez que quando uma temperatura constante é alcançada, o impacto da densidade e da capacidade térmica começam a ficar menos interrelacionados com condutividade térmica. Os efeitos da inércia termal são mais sentidos na fase pré-flashover dos incêndios e **tem um efeito significativo em quão rápido a temperatura de uma superfície irá aumentar pelo efeito de um fluxo de calor.** Quando menor a inércia termal, mais rápido a temperatura irá subir.

11.3 Avaliação da temperatura aproximada de incêndios

Os incêndios irão sempre fornecer informações valiosas para aqueles com conhecimento suficiente para reconhecer os sinais, sendo por isso de mais alta importância que um investigador de incêndio esteja capacitado para reconhecer os sinais na cena de um sinistro, seja durante sua ocorrência, seja após o fogo já ter sido extinto.

Antes de iniciarmos é importante ressaltar que as informações fornecidas a seguir são **indicativos** da temperatura dos incêndios, não devendo ser tomadas como verdade universal, e sim conjugadas com outros indícios encontrados na cena.

Para começar, os objetos quando aquecidos a determinado ponto (principalmente os metálicos) irão produzir uma luz incandescente. A cor desta luz irá variar de acordo com a temperatura aproximada, conforme se observa pela tabela abaixo.

Quadro 17: Cores de objetos incandescentes

COR	TEMPERATURA APROXIMADA (°C)
Vermelho escuro (primeiro brilho visível)	500 – 600
Vermelho pálido	600 – 800
Vermelho cereja brilhante	800 – 1000
Laranja	1000 – 1200
Amarelo brilhante	1200 – 1400
Branco	1400 – 1600

Fonte: Dehaan (2012)

Abaixo se encontra uma imagem mostrando um objeto incandescente brilhando. Você consegue estimar a temperatura?

Figura 57: Metal quente emite luz



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Hot_metalwork.jpg>. Acesso em 30 de agosto de 2015.

Outras vezes será necessário que o investigador saiba se um determinado foco inicial teria energia suficiente para ter começado um incêndio de grandes proporções, ou se deve procurar mais atentamente por sinais de acelerantes – que são substâncias adicionadas a uma cena intencionalmente para ajudar o fogo a se espalhar mais rápido e com mais vigor. Para isso é preciso que se conheça as taxas de liberação de calor de alguns incêndios típicos, conforme se observa abaixo.

Quadro 18: Taxa de liberação de calor de alguns focos típicos

INCÊNDIO	TAXA DE LIBERAÇÃO DE CALOR
Brasa de cigarro	5 W
Palito de fósforo ou isqueiro	50 W
Vela	50 – 80 W
Cesta de lixo com papéis	50 – 150 kW
Cadeira pequena com algum acolchoamento	150 – 250 kW
Cadeira com braços	350 – 750 kW (geralmente) podendo chegar até 1,2 MW
Cadeira reclinável (com acolchoamento)	500 – 1000 kW
Sofá	1 – 3 MW
Poça de gasolina	1 MW

Árvore de natal (seca, com 1,83 a 2,13 m)	1 – 2 MW (geralmente) podendo chegar até 5 MW
Sala de estar ou quarto completamente tomados por chamas	3 – 10 MW

Fonte: Dehaan (2012)

Além disso também é trazido por Daéid (2004) uma tabela com valores de taxas de liberação de calor de objetos comuns em residências. Consideramos importante o conhecimento destes valores pelo estudante, por isso reproduzimos abaixo a informação trazida pelo autor.

Quadro 19: Taxa de liberação de calor de alguns objetos comuns

ITEM	PICO DE LIBERAÇÃO DE CALOR (kW)
Cadeira estofada	150 – 700
Cesto de lixo (pequeno)	4 – 18
Sofá	250 – 3000
Colchão de algodão	40 – 970
Colchão de poliuretano	810 – 2630
Televisor	120 – 290
Árvore de natal	500 – 650
Estofamento de travesseiro	112
Armário (68 kg)	3500
Cortinas fechadas (algodão/poliéster)	267
Cortinas abertas (algodão/poliéster)	303
Prateleiras de madeira com fitas de vídeo	800
Cesta de lixo plástica com caixas vazias	13
Poça de petróleo com 0,61 m ²	400
Poça de 1,9 L de combustível de lamparina	900 – 1000

Fonte: Daéid (2004)

O uso de polímeros é cada vez mais comum pela indústria, seja em embalagens ou na própria composição de produtos, é quase impossível não encontrar nenhum tipo de plástico em qualquer lugar que vamos. Por isso é importante conhecer algumas propriedades de queima destes materiais.

Quadro 20: Características de queima de amostras de polímeros comuns

POLÍMERO	COR DA CHAMA	ODOR	OUTROS
Nylon	Azul com ponta amarala	Lembra grama queimada	Tende a se auto extinguir;
Politetrafluoretileno	Amarela	Nenhum	Tem dificuldade em queimar
Cloreto de polivinila	Amarela com base verde	Ácido	Tende a se auto extinguir; fumaça ácida
Uréia-formaldeído	Amarelo pálido	Formaldeído com notas de peixe	Muito difícil de ignizar
Borracha de butila	Amarela, fumaçenta	Doce	Queima
Borracha de nitrila	Amarela, fumaçenta	Extremamente doce	Queima
Poliuretano	Amarela com base azul	Ácido	Queima facilmente
Borracha de silicone	Branco amarelada brilhante	Nenhum	Queima com fumaça branca; resíduo branco
Borracha de estireno-butadieno	Amarela, muito fumaçenta	Estireno	Queima
Plástico alquídico	Amarela, fumaçenta	Pungente	Queima facilmente
Poliéster (contém estireno)	Amarela, muito fumaçenta	Estireno	Queima
Polietileno	Amarela com base azul	Lembra o cheiro de cera de velas	Queima facilmente; transparente quando derretido
Polimetil metacrilato	Amarela	Característico	Queima
Polipropileno	Amarela com base azul	Lembra o cheiro de cera de velas	Queima facilmente; transparente quando derretido
Poliestireno	Amarela, base azul, muito fumaçenta	Estireno	Queima Facilmente

Fonte: Dehaan (2012)

Quadro 21: Temperaturas de ignição de polímeros

PLÁSTICO	TEMPERATURA MÍNIMA DE IGNIÇÃO (°C)
Poliuretano	488
Poliisocianato	525
Polimetil metacrilato	467
Polipropileno	498
Poliestireno	573
Politetrafluoroetileno	660

Forro de poliuretano (rígido)	456 – 579
Forro de Poliuretano (mole)	498 – 565
Cloreto de polivinila	507

Fonte: Dehaan (2012)

Quadro 22: Temperatura de fusão de alguns polímeros

MATERIAL	TEMPERATURA DE FUSÃO (°C)
Polietileno	130 – 135
Polipropileno	186
Polimetil metacrilato	160
Poliestireno	240
Poliacrilonitrila	317
Nylon 66	250 – 260

Fonte: Dehaan (2012)

Um outro indicador da temperatura alcançada dentro de determinado cômodo pode ser obtido por meio da coloração do concreto. As cores são as apresentadas abaixo.

Quadro 23: Cor do concreto de acordo com a temperatura alcançada

COR DO CONCRETO	TEMPERATURA (°C)
Cinza normal	0 – 300
Rosa	300 – 600
Cinza claro	Acima de 600

Fonte: Acordi, Biluk e Kirch (2014)

Abaixo apresentamos alguns materiais que são encontrados com frequência em cenas de incêndio e seus pontos de fusão, de modo que o investigador possa ter uma ideia do quão poderoso foi o sinistro a partir do que conseguiu fundir.

Quadro 24: Ponto de fusão de alguns materiais

MATERIAL	PONTO DE FUSÃO (°C)
Alumínio	600 – 670
Vidros	700 – 800
Cobre	1080
Aço	1300
Plásticos (em geral)	100 – 200
Bronze	875 – 980
Estanho	508,08
Chumbo	600,61
Zinco	692,73

Ouro	1337,33
Prata	1234,93

Fonte: Acordi, Biluk e Kirch (2014) e Dehaan (2012)

Dehaan (2012, p. 296) traz algumas precauções para o investigador de incêndios, conforme transcrito abaixo

Sempre que resíduos de metais forem encontrados na cena, eles podem ajudar a estabelecer qual era a temperatura mínima naquele ponto da estrutura. Embora esses metais derretidos não possam e não devam ser considerados como prova de um incêndio foi deliberadamente provocado, o investigador deve levar em consideração da presença, quantidade e distribuição. Essas informações podem ajudar a estabelecer diferenças entre temperaturas normalmente produzidas por incêndios acidentais com combustíveis e ventilação normal daqueles produzidos com cargas suspeitas de acelerantes químicos em incêndios deliberados.

Além disso, também é importante estar alerta ao que Acordi, Biluk e Kirch (2014, p. 38) têm a dizer

Além dos meios acima que são mais objetivos, também se deve considerar aspectos mais subjetivos como **a observação do efeito do fogo sobre rebocos, intensidade de combustão, combustão de materiais** nas variedades temperaturas de combustão e ignição, **efeitos de dilatação térmica**, etc. Convém também esclarecer que a maioria dos incêndios, atingem temperaturas de 500°C a 700°C e não ultrapassam 1200°C que só pode ocorrer em incêndios violentíssimos. Também o efeito do fogo no concreto e tijolo é importante, pois até uma temperatura no ambiente, dentro da faixa de incêndios comuns (normais), o concreto não se rompe nem perde resistência apreciável. O tijolo até 2000 °C não se deteriora e o aço começa a sofrer os efeitos mais significativos de dilatação, acima de 550 °C, na sua massa, pois perde sua resistência à tração.

De base dos conhecimentos transmitidos acima, e outros que o estudante venha a obter nas outras disciplinas deste curso, será possível que o investigador possa estimar com relativa precisão a temperatura dos incêndios em que for trabalhar a partir dos resíduos e vestígios deixados na cena.

Capítulo 12 – Combustão de Combustíveis Líquidos, Pirólise e Decomposição de Líquidos

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar, com suas palavras, os fatores que determinarão o padrão de auréola em uma superfície queimada, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Explicar, com suas palavras, o que é a decomposição pirolítica dos líquidos, de acordo com o que foi repassado na lição.

12.1 Combustão de combustíveis líquidos

Conforme já repassado em outros capítulos, quando um combustível líquido entra em ignição e queima, não é o líquido que está queimando e sim os vapores inflamáveis que se desprendem da superfície do líquido. Dehaan (2012, p. 109) declara que com frequência o comportamento dos líquidos e seus vapores são previsíveis.

O autor diz que, em uma superfície não porosa – como o linóleo, vinil ou concreto pintado –, são as tensões superficiais e a viscosidade que irão ditar o quão grosso será a camada sobre a superfície. Esta grossura irá determinar quanta área conseguirá cobrir com uma determinada quantidade de combustível. Líquidos viscosos como o querosene e o diesel formam uma camada mais grossa, cerca de 1 mm, enquanto outros não tão viscosos como o metanol e a gasolina irão formar uma camada de 0,1 a 0,55 mm de grossura – no entanto irão se espalhar mais.

Em outras superfícies, o tamanho da poça de líquido que irá se formar dependerá da natureza da superfície. Superfícies semi porosas como madeira crua e concreto permitirão uma pequena penetração (de 2 a 3 mm), com conseqüente redução da área da poça. Carpetes e outras superfícies porosas irão permitir uma penetração maior, por isso as poças resultantes são geralmente muito pequenas.

Dehaan (2012, p. 109) informa que a taxa de evaporação em superfícies porosas é consideravelmente maior do que em aqueles em superfícies “seladas” - isto para o mesmo líquido, a uma mesma temperatura – devido a capilaridade (efeito de pavio).

Os vapores de uma poça de combustível líquido sobem na direção do ar por difusão e irão se espalhar a um determinado raio da poça original. No momento da ignição as chamas irão se formar aonde quer que os vapores tenham se difundido e se misturado com o ar atmosférico. Dehaan (2012, p. 110) aponta que o calor radiante emanado das chamas é parcialmente absorvido pelo próprio líquido combustível no centro do fogo e, nas laterais, é absorvido pela superfície adjacente que não está em contato com o líquido – essa distribuição de calor pode, às vezes, ser suficiente para que a esta superfície atinja sua temperatura de ignição.

A medida que a combustão se processa, começa a esquentar o líquido combustível, o qual está recebendo calor radiante e o distribuindo por sua composição por correntes convectivas. A parte da superfície que está por baixo da poça de combustível não fica mais “fresca” mas a sua temperatura não poderá exceder a própria temperatura de ebulição do líquido que sustenta. Dehaan (2012) aponta que para um combustível de baixo ponto de ebulição como o metanol, a temperatura não irá exceder 65 °C, pois esta é a temperatura de ebulição deste composto, logo esta parcela da superfície não sofrerá danos significativos até que toda a massa de metanol tenha sumido.

Um outro fenômeno acontece com a gasolina. Dehaan (2012) explica que haverá uma destilação dos componentes deste hidrocarboneto, e os seus constituintes serão consumidos do mais leve para os mais pesados até que só estes últimos restem. A temperatura da massa total de gasolina será limitada pelo ponto de ebulição dos componentes mais pesados, como o n-dodecano que possui um ponto de ebulição de 216 °C. Conforme os componentes mais leves entram em ebulição, a temperatura do líquido poderá ir galgando temperaturas mais elevadas, o que poderá ocasionar pequenos danos nos materiais da superfície.

Quando produtos como o diesel queimam, o líquido pode chegar a atingir temperaturas de 340 °C, o que é suficiente para ignizar a maioria dos combustíveis sólidos. Abaixo apresentamos uma tabela com informações do interesse do investigador.

Quadro 25: Propriedades dos produtos do petróleo

DESTILADO DO PETRÓLEO	DO PONTO DE EBULIÇÃO	DE PONTO DE FULGOR	DE TEMPERATURA DE AUTOIGNIÇÃO
Etanol	78,5 °C	13 °C	363 °C

Tolueno	110,6 °C	4,4 °C	
Gasolina	32 – 190 °C	-43 °C	257 °C
Metanol	64,7 °C		
Destilados médios do petróleo	125 – 215 °C	13 °C	220 °C
Querosene	175 – 300 °C	38 °C	210 °C
N-dodecano	216 °C	74 °C	203 °C
Óleo de motor	175 – 260 °C	43 – 72 °C	210 °C
Diesel	200 – 350 °C	52 °C	257 °C
N-pentano	36 °C	-40 °C	260 °C

Fonte: Dehaan (2012)

Esta diferença entre algumas superfícies ficarem protegidas do ataque do calor enquanto outras é o principal motivo pelos quais alguns combustíveis quando queimam deixam um padrão de auréola enquanto outros danificam as superfícies de maneira mais significativa.

12.2 Pirólise e decomposição de líquidos

Dehaan (2012, p. 112) aponta que embora alguns líquidos instáveis se decomponham em temperaturas baixas, a maioria dos combustíveis líquidos atingem suas temperaturas de ebulição e evaporam antes que consigam atingir a decomposição pirolítica.

Mesmo quando os combustíveis líquidos são expostos a temperaturas muito intensas, a temperatura se mantém controlada pelas redes de convecção que misturam as partes quentes e frias do líquido. A parte que se encontra na superfície entra em ebulição, enquanto o calor absorvido é perdido por evaporação. Dehaan (2012, p. 112) aponta que questionamentos

Este processo mantém a temperatura de toda a massa logo abaixo ou na temperatura de ebulição do líquido; a poça de líquido protege a superfície em que está depositada. Quando estiver lidando com líquidos viscosos como o asfalto, resinas plásticas, ou algumas comidas, é necessário lembrar que com uma circulação deficiente, algumas porções do líquido estarão em contato com intensas fontes de calor e poderão atingir e exceder suas temperaturas de pirólise e começar a carbonizar e se decompor como um sólido. Os produtos da pirólise irão participar da combustão da mesma maneira como se tivessem sido retirados de um combustível sólido.

Dehaan (2012) alerta que tanques em chamas contendo óleo cru tem todas as condições de apresentar um fenômeno de *boilover* em grande escala.

Capítulo 13 – Combustíveis Sólidos

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno da pirólise, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar três características de cada um dos combustíveis sólidos apresentados nesta lição.

Antes de iniciarmos este capítulo acerca dos combustíveis sólidos vale destacar uma passagem trazida por Dehaan (2012, p. 124) em sua obra

Muitas das propriedades típicas de combustão podem ter pouco ou nenhum significado para este grupo. Por esse motivo, muitas vezes não é possível listar propriedades comuns como ponto de fulgor ou raio de explosão para os combustíveis mais comuns que existem: madeira, plástico, papel e outros parecidos. Apesar desta limitação, as propriedades destes combustíveis são de grande importância, e até certo ponto podem ser descritas, seja por dados numéricos, seja em termos gerais.

Dehaan (2012) continua dizendo que o mecanismo de queima dos combustíveis sólidos é mais complexo porque ele geralmente depende da pirolização de material suficiente e da mistura adequada destes produtos com o ar para que a ignição possa acontecer. Na próxima seção iremos explicar melhor o que é o processo de pirólise.

13.1 Pirólise

A parte mais importante de um incêndio com chamas, segundo relata Dehaan (2012) é a própria chama, que é o local onde a reação em cadeia acontece **entre os gases**. Isto é verdadeiro mesmo que o combustível que esteja mantendo a reação seja sólido – vale dizer, madeira, roupas, plástico e até mesmo carvão.

Os modos pelos quais um sólido pode passar do seu estado para o gasoso são os mais diversos. Ele pode primeiro passar pelo estado líquido (fusão, ou derretimento) para então passar para o gasoso (ebulição, evaporação), como é o caso da cera das velas.

Também é possível que passe do estado sólido diretamente para o estado gasoso pelo fenômeno conhecido como **sublimação** – sendo o exemplo mais comum a naftalina, usada largamente para prevenir o aparecimento do mofo em roupas.

Novamente de acordo com Dehaan (2012), uma categoria extremamente importante é a dos produtos que quando aquecidos produzem vapores combustíveis e uma matriz carbonizada. Aqui estão inclusos uma ampla gama de combustíveis: papel, outros produtos celulósicos e a maioria das resinas de cura por calor – que são aqueles que se decompõem ou se degradam quando aquecidos, em vez de derreter.

Dehaan (2012, p. 125) diz que segundo a química a **pirólise** é “[...] a decomposição de um material pelo calor na ausência de reações com o oxigênio”. No entanto, em casos de incêndio - como é quase impossível haver o processamento das reações sem o oxigênio – a pirólise também pode ser considerada como a decomposição térmica que ocorre na presença de oxigênio.

A pirólise é um fenômeno conhecido há muito tempo, mas só a pouco tempo começou a ser entendido pelos cientistas. Para que possamos entender o que se passa durante o processo de pirólise é preciso ter em mente que praticamente todos os combustíveis são orgânicos por natureza, ou seja são baseados em cadeias carbônicas extensas. Dehaan (2012) aponta que quase todos os combustíveis de importância ao estudo do incêndio são de origem vegetal ou dele derivado por decomposição, ação bacteriana, ou processo geológico sobre materiais vivos – animal, como o petróleo, ou vegetal, como o carvão.

Os compostos orgânicos quando aquecidos passam por um complexo processo de degradação para gerar compostos mais simples que são mais voláteis e, sendo assim, são mais inflamáveis que os originais do qual derivaram. São estes os compostos que irão participar da reação de combustão. Observe a figura abaixo.

Figura 58: Madeira queimando



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_27/madeiraimagem/combustaoincandescente.jpg>. Acesso em 31 de agosto de 2015.

Observe que a parte da madeira que está em chamas está mais escura, carbonizada. Esta seção da tábua está passando pelo processo de pirólise, os constituintes complexos da madeira estão sendo decompostos pela ação do calor em compostos mais simples, os quais, combinados com o ar atmosférico, estão queimando. É possível ver até que o fogo “queima a uma certa distância” da própria madeira, mostrando que são os vapores voláteis que de fato estão queimando e não a madeira.

Dehaan (2012) explica que a pirólise também está envolvida no processo de ignição de combustíveis adjacentes a um foco principal de incêndio por radiação calorífica. A radiação é absorvida pelos materiais ao redor do fogo até que a temperatura inicie um processo de pirólise e, após a temperatura continuar subindo, atingir a temperatura de autoignição dos produtos da pirólise.

No entanto, não são todos os combustíveis sólidos que passam pelo processo de pirólise. Dehaan (2012) aponta que alguns passam por processos diferentes. Existem metais reativos como o sódio, o potássio, o fósforo e o magnésio que entram em combustão quando o ar reage com suas superfícies expostas. O calor resultante vaporiza o combustível e produz gases quentes e óxidos incandescentes – tudo isto sem precisar passar por um processo prévio de decomposição térmica.

Figura 59: Fósforo queima em contato com o ar



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://static.neatorama.com/images/2010-02/mad-science-phosphorus-sun-2.jpg>>. Acesso em 31 de agosto de 2015.

Perceba na imagem acima uma massa de fósforo queimando quando em contato com o ar. É possível ver o fluxo de gases quentes subindo e até mesmo os óxidos incandescentes se desprendendo do fósforo.

Já outros sólidos, como o asfalto e a cera de vela, passam por um processo de derretimento e vaporização quando são submetidos à ação do calor, sendo os gases resultantes os participantes da reação de combustão.

13.2 Madeira

Passaremos a tratar agora sobre as propriedades de um dos combustíveis sólidos mais comumente encontrados em incêndios: a madeira.

Dehaan (2012, p. 127) aponta que “madeira” é um termo genérico e cobre uma grande variedade de produtos, sejam naturais ou feitos pelo homem. O componente mais presente na madeira é a celulose (aproximadamente 50% do total), seguido por

hemicelulose (aproximadamente 25%), lignina (aproximadamente 25%) e tendo outros produtos como resinas, óleos, sais e água em quantidades variáveis.

É possível obter madeira de uma variedade enorme de árvores, algumas mais densas, outras mais leves. Umas com muita resina, outras nem tanto.

Sendo a madeira composta de várias substâncias, como vimos acima, não é difícil prever que os componentes da madeira terão temperaturas diferentes para entrar em processo de pirólise. Dehaan (2012, p. 128) aponta que para a hemicelulose esta temperatura é de 200 °C a 260 °C, para celulose é de 240 °C a 350 °C e a lignina é de 280 °C a 500 °C.

O autor continua dizendo que a condução térmica na madeira é facilitada se for na direção das fibras, que se de outra forma. Isto também é verdade para a produção de óleos voláteis e resinas, sendo facilitada para o calor que segue a linha das fibras do que quando ele vai em ângulo contra elas.

Dehaan (2012) leciona que a madeira começa a sofrer uma descoloração e carbonização a temperaturas acima de 200 °C a 250 °C, no entanto temperaturas menores mas com tempos de exposição maiores causam o mesmo efeito. A medida que a madeira sofre o processo de pirólise e começa a se carbonizar, aumenta a absorção de calor por ela, devido a superfície escurecida e também porque a parte carbonizada tem uma inércia térmica menor do que a madeira antes de queimar. A soma dos fatores apontados anteriormente faz com que a temperatura da madeira comece a aumentar mais rápido quando o processo de carbonização inicia.

O supracitado autor continua explicando que devido a complexidade da composição da madeira, não é possível definir um valor fixo para a ignição da madeira, sendo este valor influenciado pela espécie da madeira, o tamanho, a ventilação, a quantidade de umidade, presença de resinas inflamáveis, entre muitos outros.

A temperatura de autoignição da madeira está relacionada a um momento em que a oxidação da madeira está liberando calor a tal ponto que consegue fazer a temperatura do combustível circundante chegar ao seu ponto de ignição e, assim, ser autossustentável. Não há um consenso entre os estudiosos da área sobre o valor de autoignição da madeira, no entanto Dehaan (2012) aponta que a grande maioria concorda em estar em um intervalo de 230 °C a 260 °C.

Não há dúvidas que madeira seca entra em ignição mais facilmente do que uma com alta concentração de umidade. Dehaan (2012) informa que a exposição recorrente e contínua a fontes de calor faz com que a madeira expulse sua umidade interna, o que

pode causar a diminuição da temperatura de ignição. Entretanto McNaughton *apud* Dehaan (2012, p. 130) realizou estudos que mostraram que não aumento significativo do perigo até que se atinja a temperatura de 275 °C a 280 °C, pois neste ponto tanto a madeira quanto a tinta são extensivamente carbonizadas.

Excluindo-se as resinas inflamáveis, as quais podem fazer com que seja possível fazer uma madeira entrar em ignição com um palito de fósforo, o principal combustível da madeira é a celulose. A celulose é um derivado da glucose já parcialmente oxidado, e, por isso, tem proporcionalmente menos combustível por unidade de massa para ser oxidado no processo de combustão. Dehaan (2012) mostra que devido ao fato de já estar parcialmente oxidada, a madeira gera menos calor – se compararmos massas iguais – do que outros combustíveis com maior porcentagem de hidrogênio, tal como o carvão e o petróleo. O supracitado autor ainda menciona que “[...] incêndios que tem somente madeira como combustível podem ser menos intensos que aqueles alimentados com hidrocarbonetos, os quais são usualmente utilizados como acelerantes (porque eles liberam mais energia por segundo por unidade de área de superfície, às vezes chamado de densidade energética).”

Dehaan (2012) ainda menciona o processo da ignição da madeira a baixas temperaturas – o qual diz ser da maior importância para os investigadores de incêndio. A combustão normal da madeira é um processo gradual com zonas de pirólise e carbonização bem definidas que avançam de fora pra dentro a partir da fonte de calor. Quando as temperaturas ficam entre 100 °C e 280 °C a madeira começa a perder massa pela liberação de umidade e óleos, e uma grande porcentagem da madeira (aproximadamente 40%) é transformada em carvão. Em temperaturas abaixo de 180 °C a pirólise dos três maiores componentes sólidos da madeira atinge sua taxa máxima, deixando apenas uma pequena porcentagem – de 10% a 20% - como carvão.

Se o calor acumulado no carvão conseguir ficar retido e houver condições de ventilação adequada, a temperatura pode subir ao ponto da massa conseguir entrar em combustão. A retenção anteriormente mencionada depende do isolamento e da quantidade de calor que está sendo perdida por convecção e por condução. Se o isolamento for bom, dificilmente haverá quantidade de oxigênio suficiente para manter a reação de combustão, muito embora – como já estudamos – os incêndio sem chamas (ou *smoldering*) possam acontecer em quantidades de oxigênio muito baixas. É por causa disso que a formação de carvão pelo aquecimento lento da madeira tem um papel significativo na ativação de alguns incêndios sem chama acidentais.

Dehaan (2012) também menciona que, embora o pedaço inteiro de madeira não se ignize em temperaturas “baixas”, já é bem documentado que a exposição prolongada à temperaturas abaixo de 120 °C pode fazer com que a madeira se degrade em carvão pela destilação e pirólise. Shaffer *apud* Dehaan (2012, p. 132) calculou que a exposição a temperaturas de até 150 °C por longos períodos pode decompor celulose finamente dividida em carvão, que então poderá entrar em ignição.

Este carvão é conhecido como carbono pirofórico ou carvão pirofórico devido a propriedade que Dehaan (2012, p. 132) define como “a capacidade de entrar em ignição pela exposição ao oxigênio atmosférico a temperaturas ambientes”.

Por fim, Dehaan (2012) discute em sua obra que a temperatura das chamas da madeira queimando varia muito, envolvendo fatores como quantidade de oxigênio, correntes de ar, quantidade de resina e grau de carbonização. Usando o valor de calor de combustão de 18 MJ/kg obtém-se uma temperatura de chama adiabática de 1590 °C. No entanto testes tem mostrado que esta temperatura é menor, cerca de 1040 °C.

13.3 Papel

O papel é um tipo de combustível que pode ser encontrado praticamente em qualquer incêndio, seja tenha sido usado para iniciar o fogo ou simplesmente tendo servido para espalhar as chamas.

O principal componente do papel é, também, a celulose. E embora se incendeie com facilidade, nem todos os outros componentes do papel tem o mesmo comportamento. Papéis brilhantes e sedosos como os do tipo *couché* usado em revistas contém uma camada de um tipo de “cera” que não é combustível. Dehaan (2012) mostra que as diferenças na queima de papéis pode ser rapidamente demonstrada ao queimar um pedaço de jornal – o qual deixará pouca cinza. Já queimando uma revista que usa papéis encerados deixará uma quantidade de cinzas maior. Na maior parte das vezes a cinza é este material que recobre o papel, embora alguns papéis nobres usem dióxido de titânio, sulfato de bário e outros componentes não combustíveis.

Dehaan (2012, p. 140) traz resultados interessantíssimos sobre estudos de queima de papel em seu livro, o qual reproduzimos abaixo

Uma vez que papel é um produto celulósico como a madeira, as suas propriedades de ignição não são mensuradas apropriadamente. Graf estudou as temperaturas de ignição de vários papéis. Com poucas exceções, ele descobriu que a temperatura de ignição está na faixa compreendida entre 218 °C e 246 °C. A maioria dos papéis não apresentaram mudanças significativas até a temperatura

de 150 °C. Muitas amostras ficaram escurecidas quando as temperaturas chegaram a 177 °C, foram de enegrecidas a marrom quando chegaram a 204 °C, e se não se ignizaram, foram de marrom a preto quando atingiram 232 °C. Estes resultados são influenciados pela taxa de transferência de calor, maneira de ignição, natureza da exposição do calor e quantidade de ventilação ofertada; assim, é muito difícil dizer com precisão qual é a temperatura de ignição. Os dados de Smith (reportado no Manual da Ignição) indicam que a maioria dos papéis sem cobertura entram em ignição em temperaturas de 260 °C a 290 °C.

Um dos motivos pelos quais o papel queima fácil é porque, assim como a madeira, possui uma baixa inércia térmica, de maneira que a temperatura sobe rapidamente. Dehaan (2012) traz que o fluxo mínimo de calor para ignir a grande maioria dos papéis é de 20 a 35 kW/m². Se o papel queimando estiver em uma única folha, ele irá queimar rapidamente com uma liberação curta de calor. Já se estiver em fardos, ele já não tem mais a mesma superfície de exposição, conseqüentemente será muito mais difícil de incendiar como um todo – apesar de ainda se carbonizar na superfície.

Assim, percebe-se que não é a presença do papel na cena de incêndio que é importante e sim a sua distribuição em termos de superfície exposta. Um fardo bem embalado de papel dificilmente será o foco de um incêndio, pois queimará de maneira muito ineficiente e somente superficialmente. Já uma pilha de papéis irá queimar vigorosamente, possivelmente elevando a temperatura até a temperatura de ignição de muitos combustíveis adjacentes.

Dehaan (2012) conta que apesar da informação acima, uma pilha de papéis embebidos em acelerante, como a gasolina, costuma ser uma preferência dos incendiários. O propósito do papel é mais de servir como depósito do líquido combustível do que como combustível propriamente dito, por isso a pilha de papéis é um bom local para colher amostras buscando a presença de acelerantes.

13.4 Plásticos

Segundo Dehaan (2012), existem muitos tipos de plásticos, desde os que queimam somente a altíssimas temperaturas como o Teflon até os que queimam intensamente e rapidamente, como a nitrocelulose. A maioria dos plásticos encontrados nas residências estará entre esses dois extremos. Grande parte dos plásticos é formado pela ligação de várias cadeias carbonicas por procedimentos químicos como a polimerização, poliadição, policondensação, entre outros que não vem ao caso. Estas longas cadeias de hidrocarbonetos são quebradas quando o calor age sobre elas, pirolizando-as em

unidades mais simples e voláteis. Dehaan (2012) lembra que muitos plásticos liberam elementos extremamente tóxicos como o ácido clorídrico, o ácido fluorídrico, o gás flúor e até mesmo o ácido cianídrico. Outro perigo associado é que alguns polímeros irão derreter e, como tem uma temperatura elevada, podem pingar em locais ainda não incendiados e formar focos secundários de incêndio. Já estudamos na seção 11.3 algumas propriedades de polímeros durante a queima.

Uma vez que a química dos plásticos é muito parecida com a dos produtos do petróleo, eles possuem propriedades semelhantes. Eles produzem as mesmas chamas com fuligem e com temperaturas equivalentes. Dehaan (2012) menciona que alguns plásticos podem gerar chamas com temperaturas altíssimas como o poliuretano que pode alcançar até 1300 °C.

O autor ainda menciona que os polímeros são os responsáveis pela formação das poças de material grudento e preto comumente encontrados em cenas de sinistros e também fumaça preta que é notada nos estágios iniciais de incêndios estruturais. Ainda, os vapores formados pela queima de polímeros é rica em materiais inflamáveis que, se entrarem em ignição, rapidamente tomarão um cômodo inteiro em chamas em um *flashover*.

Dehaan (2012, p. 144) informa que muito embora as temperaturas de autoignição dos plásticos geralmente são na ordem de 330 °C a 600 °C, o uso universal deles em embalagens, utensílios, móveis, janelas, paredes oferece muitas oportunidades para que eles estejam em contato com temperaturas dessa magnitude.

13.5 Tintas

Dehaan (2012) aponta que a definição de “tinta” muitas vezes é mal empregada porque é usada pra qualquer cobertura de paredes. Historicamente, tinta consistia em óleo no qual pigmentos minerais ficavam em suspensão – sendo que a mistura era diluída usando aguarrás ou algum destilado do petróleo. Como o tiner evapora rapidamente, a sua influência na combustão de tintas só acontece enquanto ela ainda está fresca.

Já as resinas e o óleos constituem os principais componentes combustíveis da tinta, mesmo quando ela já esta seca. Os pigmentos usados antigamente para dar cor a tinta eram geralmente incombustíveis, então serviam como um retardante das chamas. Dehaan (2012) alerta que este não é mais o caso, pois os pigmentos foram substituídos por compostos orgânicos que queimam.

Já foi relatado que algumas vezes a camada de tinta nas paredes e no teto ficou amolecida durante incêndios e caiu por sobre os vários objetos abaixo dela, auxiliando na dispersão das chamas pelo cômodo. Dehaan (2012) diz que isto é especialmente suscetível se há várias camadas de tinta.

Figura 60: Camadas de tinta incendiada caem pelo cômodo



Fonte: Dehaan (2012)

Na figura acima vemos claramente pedaços de tinta em chamas caindo pelo cômodo. Caso eles caíssem por cima de um sofá ou em uma cortina fica claro o que poderiam causar.

13.6 Carvão

O carvão já foi o material mais utilizado para o aquecimento em geral, tanto em casas quanto em indústrias, mas a medida que as tecnologias evoluíram e ele foi caindo em desuso. Entretanto, por ser um material de potencial poluidor relativamente baixo, vem

ganhando espaço novamente nas indústrias. Dehaan (2012) informa que a mineiração e a estocagem poderão ser perigosas devido a combustibilidade do carvão. É mencionado pelo autor que em condições apropriadas, o carvão pode se auto aquecer ao ponto de se inflamar, mesmo *in natura* ou quando guardado.

Outra característica trazida pelo autor é a de que a umidade é essencial no processo. O conjunto de grandes massas de carvão com oxigênio e umidade por grandes períodos de tempo pode levar ao auto aquecimento do carvão. Quanto maior a quantidade de carvão epilhado, maior a chance de auto aquecimento ao ponto da auto ignição.

O carvão é composto quase totalmente por carbono (de 80% a 90%), sendo o restante hidrogênio (4% a 5%), oxigênio (12%), nitrogênio, enxofre e outros elementos na quantidade de traços – sendo que estes elementos podem sofrer o processo de pirólise. Segundo Dehaan (2012) o carvão difere dos outros combustíveis sólidos porque a proporção de elementos pirolizáveis é muito pequena. Geralmente os compostos mais fáceis de entrar em ignição são aqueles que se pirolizam mais facilmente. As temperaturas de autoignição registradas na literatura variam de 200 °C a 600 °C.

Um fenômeno que pode acontecer com o carvão finamente dividido é as explosões em poeira – chamadas de *dust explosions* na literatura internacional. De acordo com Dehaan (2012) a concentração mínima de carvão finamente dividido em suspensão no ar é de 60 g/m³, sendo que quanto menores forem as partículas do sólido, mais fácil é a ocorrência das explosões. Outra característica apresentada é a de que quando mais energética for a fonte de energia responsável pela ignição, maior será o raio alcançado pela explosão.

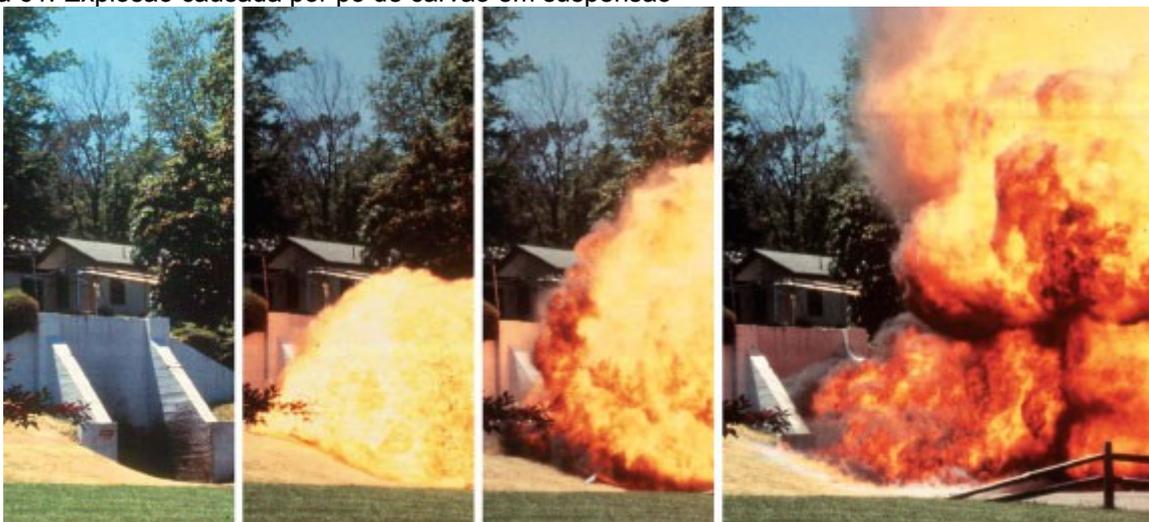
13.7 Borracha

O estado natural da borracha é o látex, o qual é retirado da seringueira. Segundo Acordi, Kirch e Biluk (2014) a borracha é um tipo de polímero cujo principal componente é o Isopreno. Ainda, segundo os autores, a borracha começa a sofrer pirólise a temperatura de 220 °C.

Uma vez que a borracha e o enxofre tem uma ligação facilitada e que muitas indústrias fazem com que a borracha passem pelo processo de vulcanização para que ganhem resistência, é importante informar que o enxofre na composição da borracha vulcanizada pode se autoaquecer ao ponto de entrar em ignição espontaneamente.

É trazido por Dehaan (2012) que espumas de latex podem ser ignizadas com relativa facilidade e com fontes de ignição de baixa energia – como uma brasa de cigarro – e conseguem sustentar uma combustão sem chamas por bastante tempo o qual pode virar um incêndio com chamas depois de horas em estado latente. Quando queimam, liberam uma fumaça densa e tóxica – a qual é conhecida por gerar explosões.

Figura 61: Explosão causada por pó de carvão em suspensão



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:

<<http://www.cheminst.ca/sites/default/files/images/ACCN/SeptemberOctober2013/explosion.jpg>>.

Acesso em 05 de setembro de 2015.

Perceba a intensidade que pode chegar a explosão causada pelo carvão em suspensão no ar atmosférico.

13.8 Cereais

De acordo com Acordi, Biluk e Kirch (2014) os cereais não são bons combustíveis quando considerados a temperaturas moderadas, podendo até servir como agentes extintores caso caiam em grande quantidade sobre o foco do fogo, extinguindo-o por abafamento. Entretanto, a altas temperaturas os cereais irão passar pelo processo de pirólise e de carbonização, momento em que atuarão como verdadeiros carvões vegetais, com alto poder calorífico. Os supracitados autores destacam como combustíveis mais importantes a farinha de mandioca o fubá, arroz, feijão e o açúcar.

Quando estiverem finamente divididos e em suspensão no ambiente também poderão desencadear o processo de *dust explosions*. Dehaan (2012) informa que a concentração mínima dos cereais no ar atmosférico é de 200 g/m³.

13.9 Produtos da combustão de combustíveis sólidos

Trataremos neste tópico sobre dois assuntos: cor das chamas e produção de fumaça. Dehaan (2012) argumenta que a cor das chamas, principalmente nos estágios iniciais do incêndio, tem grande importância na obtenção de dados sobre as condições de queima. O autor diz que na maioria dos incêndios a cor das chamas não terão grande importância uma vez que a maioria dos elementos estruturais, são feitos basicamente de celulose e alguns outros materiais orgânicos como asfalto, tinta, etc. Para todos esses materiais a cor da chama é muito parecida – algo entre o amarelo e o alaranjado – e somente a quantidade e a cor da fumaça é que irão dar pistas sobre o tipo de combustível que está queimando e o quão bem oxigenado está o fogo.

A não ser que hajam elementos incomuns queimando, como por exemplo o cobre que queima com uma chama verde muito característica, a cor das chamas estará diretamente relacionada a sua temperatura.

Dehaan (2012) também aponta que algumas vezes serão vistas, sim, cores não usuais em incêndios. Por exemplo, caso seja observado logo após o início do incêndio chamas de cor relativamente azul ou roxa, é possível que haja algum álcool queimando, o que pode indicar a presença de acelerantes. Também é importante conhecer que o monóxido de carbono queima com uma chama azul, sendo prudente que se observe esse tipo de chama escapando de pequenas aberturas da estrutura em um incêndio confinado, pois pode indicar altas concentrações de CO em um ambiente confinado, sendo indicadores de um possível *backdraft*.

Encerrado as breves observações sobre as cores das chamas, tratemos da produção de fumaça. O conhecimento do tipo de fumaça que é produzido por classes de combustíveis pode auxiliar o investigador a ter uma noção do que está queimando dentro dos incêndio sem precisar entrar na área de risco.

Segundo Dehaan (2012) quando estamos diante de uma combustão completa, os combustíveis irão produzir pouca ou nenhuma fumaça visível – pois a queima de de carbono em condições de oxigênio estequiométricas gera, como já vimos, apenas dióxido de carbono, um elemento incolor e inodoro. Já a combustão incompleta gerará monóxido de carbono, um gás também incolor, mas com propriedades tóxicas significativas. As combustões incompletas também irão gerar fuligem, a qual poderá se acumular nos vidros da estrutura em chamas, por exemplo, ou se acumular pelos mais diversos objetos ao redor do sinistro.

O autor continua dizendo que a coloração da fumaça será quase sempre determinada pelo tipo de combustível que está queimando e da quantidade de oxigênio disponível. A maior parte dos materiais, inclusive os hidrocarbonetos, nunca irá queimar completamente – mesmo na presença de excesso de ar.

Dehaan (2012) explica que a medida que as cadeias carbonicas começam a ficar maiores, por exemplo em óleos destilados do petróleo, também aumenta a quantidade de ar necessário para realizar a oxidação destes materiais. Assim sendo, em incêndios envolvendo destilados do petróleo é muito comum visualizar grandes quantidades uma fumaça preta e densa. Destarte, caso o investigador se depare com uma estrutura expelindo grandes quantidades de uma fumaça negra e quase “palpável” **poderá indicar** que um derivado do petróleo estava queimando lá dentro. É bom frisar que somente será um indicativo porque na maior parte das vezes a fumaça negra provém da ventilação inadequada do incêndio, fazendo com que ela se processe de maneira incompleta.

Ainda segundo o autor, caso o combustível queimando seja celulose e seus derivados, o esperado é que a fumaça seja clara e sem fuligem – mesmo em condições de combustão incompleta.

Materiais asfálticos, algumas tintas, espumas e borrachas geralmente produzirão uma fumaça preta. Estes produtos tendem a se incendiar somente em estados mais avançados do incêndio, então a visualização de fumaça preta em estágios avançados não deve ser um indicativo forte da presença de acelerantes de derivados do petróleo.

Por fim, fumaças com cores muito fora do comum devem ser devidamente registradas para posterior estudo, pois é muito provável que elementos não usuais estavam queimando.

Capítulo 14 – Fontes de Ignição

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar, no mínimo, três fontes de ignição primárias e suas características, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar, no mínimo, três fontes de ignição secundárias e suas características, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Explicar, com suas palavras, o que é uma fonte de ignição competente, de acordo com o que foi repassado na lição.

De acordo com Dehaan (2012, p. 168), ignição é “iniciação de uma combustão autossustentável em um combustível”. Já Aragão (2010, p. 96) traz um conceito um pouco mais complexo dizendo que a ignição é definida como “[...] o processo pelo qual a reação química exotérmica é iniciada rapidamente pela adequada elevação da temperatura do combustível, causando mudanças na composição do material envolvido e elevando a temperatura do ar ambiente”.

Aragão (2010) informa que existe duas formas pela qual um combustível pode entrar em ignição: a ignição piloto e o autoaquecimento. A primeira é aquela em que a energia calorífica provém de uma fonte externa, como por exemplo a chama de uma vela ou uma centelha aberta. Neste caso o resultado é uma combustão com chamas.

Já a segunda envolve processos exotérmicos biológicos e/ou químicos que acabam por aumentar a temperatura de um combustível, devido a taxa de geração de calor ser maior do que a de dissipação.

Segundo Dehaan (2012) as propriedades que mais influenciam em na possibilidade de ignição de um material são a densidade, a capacidade térmica e a capacidade calorífica. Como já vimos, estas propriedades em conjunto determinam a **inércia térmica** do combustível. Para que a ignição possa acontecer é necessário que energia suficiente seja transferida a uma taxa que ultrapasse a inércia térmica e desencadeie uma combustão autossustentável. Caso isto ocorra, diz-se que a fonte de ignição é **competente**.

Não importa o tipo de combustível, sem fonte de energia não haverá ignição e **sem exceção** a fonte será algum tipo de objeto aquecido, reação química, chama ou corrente elétrica. Dehaan (2012) explica que exceto no caso do autoaquecimento, a temperatura da fonte deverá exceder a temperatura de ignição do combustível, e também deverá conseguir transferir uma quantidade suficiente de calor para uma massa de combustível.

No caso da ignição por autoaquecimento, ocorrerá uma combustão sem chamas autossustentável, na qual o oxigênio circundante difundirá na superfície do combustível carbonizado de modo a conseguir manter a reação de combustão.

Uma regra geral trazida por Dehaan (2012) é a de que **quanto menor a energia de ignição de uma fonte, mais perto ela precisará estar do primeiro combustível para iniciar a ignição**. Também é mencionado que o desafio do investigador de incêndio é de descobrir qual foi o primeiro combustível a se ignizar e determinar como esta fonte de ignição conseguiu transferir calor suficiente para espalhar as chamas.

14.1 Fontes de ignição primárias

Dehaan (2012) afirma que a fonte primária de ignição de todos os incêndios é o calor, e a chama de um palito de fósforo ou de um isqueiro está entre as mais efetivas fontes primárias de ignição. A seguir iremos discorrer brevemente sobre algumas fontes primárias de ignição.

14.1.1 Palitos de Fósforo

É um produto industrializado criado especificamente para servir como uma fonte de ignição, seja para acender uma vela ou para iniciar a combustão do GLP em um fogão mais antigo sem acendedor automático. Virtualmente todas as residências possuem uma caixa de fósforos na cozinha.

Dehaan (2012, p. 169) “define” o palito de fósforo como um “[...] palito que é tratado para ser um ótimo combustível combinado com uma cabeça que inclui um oxidante e um combustível de forma que possam ser ignizados pelo calor localizado produzido por fricção”. O autor continua dizendo que existem dois tipos de fósforos: os que acendem por fricção em qualquer superfície e os fósforos de segurança. Os primeiros são muito difíceis de serem encontrados no Brasil, sendo os segundos disponíveis em qualquer supermercado.

Os fósforos de segurança contêm um oxidante e um combustível como o enxofre. Ele irá entrar em ignição somente quando for friccionado contra uma fita contendo fósforo vermelho, cola e um agente abrasivo. O palito é geralmente tratado de forma a não formar brasas depois de apagado.

De acordo com Dehaan (2012) a potência calorífica liberada por um palito de fósforos é da ordem de 50 a 80 W, e a temperatura **média** da chama depois que a ponta “percussora” tiver queimado é de 700 °C a 900 °C. No entanto, em algumas zonas da chama a temperatura pode chegar de 1200 °C a 1400 °C. O calor liberado pelo fósforo é suficiente para induzir a ignição na maioria dos combustíveis, mas ele precisa ser de contato direto com os materiais, porque não é energético o suficiente para o fazê-lo por irradiação.

A tabela abaixo fornece informações interessantes para o investigador de incêndio.

Quadro 26: Taxas de liberação de calor e tempos de queima de fontes de ignição comuns

MATERIAL	POTÊNCIA CALORÍFICA (kW)	TEMPO DE QUEIMA (s)	ALTURA MÁXIMA DA CHAMA (mm)	FLUXO MÁXIMO DE CALOR (kW/m ²)
Cigarro de 1,1 g seco	0,005	1200	–	42
Cigarro de 1,1 g com 50% de umidade	0,005	1200	–	35
Pílula de metenamina	0,045	90	–	4
Vela (21 mm)	0,075	–	42	70
Saco de pão amassado, 6 g	1,2	80	–	–
Papel encerado bem amassado, 4,5 g	1,8	25	–	–
Jornal dobrado em dois, 22 g	4	100	–	–
Papel encerado amassado suavemente, 4,5 g	5,3	20	–	–
Jornal dobrado em dois amassado, 22 g – aceso por cima	7,4	40	–	–

Jornal dobrado em dois amassado, 22 g – aceso por baixo	17	20	–	–
Cesta de lixo de polietileno, 285 g, cheia com 12 caixas de leite (390 g)	50	200	550	35
Sacos de lixo cheios com papel (1,2 – 14 kg)	120 – 350	200	–	–
Cadeira acolchoada pequena	150 – 250	–	–	–
Cadeira acolchoada	350 – 750	–	–	–
Cadeira reclinável	500 – 1000	–	–	–
Poça de gasolina em concreto (2 L, em 1/m ² área)	1000	30 – 60	–	–
Sofá	1000 – 3000	–	–	--

Fonte: Dehaan (2012)

14.1.2 Isqueiros

O princípio de funcionamento de um isqueiro é a liberação de vapor inflamável, contido em um pavio ensopado em fluido de isqueiro ou em um contâiner, e sua ignição por uma fagulha produzida por uma pederneira. Dehaan (2012) traz a informação de que a potência calorífica liberada por um isqueiro recarregável é da mesma ordem dos palitos de fósforo, ou seja, de 50 a 80 W e a temperatura da chama pode alcançar temperaturas de 1000 °C. No entanto estes isqueiros são mais raros, sendo que os descartáveis que usam butano são muito mais comuns. Nestes isqueiros as temperaturas podem chegar até 1400 °C

14.1.3 Maçaricos

Há uma grande variedade de maçaricos disponíveis no mercado, desde os menores usados na culinária, até os maiores usados para fins industriais. Os mais comuns e conhecidos são aqueles que usam como combustível uma mistura de acetileno/ar ou acetileno/oxigênio. Todos os maçaricos tem grande potencial de iniciar incêndios. Dehaan (2012) afirma que materiais celulósicos irão se ignizar mais facilmente se estiverem finamente divididos, pois a aplicação de um maçarico em um pedaço maciço de madeira irá, quase com certeza, apenas causar a carbonização da superfície.

O autor ainda conta que materiais mais volumosos podem ser ignizados por maçaricos, principalmente se estiverem em cavidades apertadas onde a perda de calor por radiação é diminuída. Estes casos são perigosos pois esses pontos de queima podem não ser detectados facilmente e podem continuar a queimar após a extinção das chamas visíveis pelas equipes.

14.1.4 Velas

Abriremos esta seção com alguns dados trazidos por Dehaan (2012) acerca do uso de velas – infelizmente os dados são referentes aos Estados Unidos, mas ainda assim mostram a importância delas. A Associação Nacional de Velas estima que velas são usadas em 7 de cada 10 residências estadunidenses e que a venda de velas sobe 15% a cada ano. A NFPA estima que em 2002 foram reportados 18000 incêndios com causa inicial atribuída a velas, causando 130 mortes, 1350 feridos e prejuízos econômicos da ordem de \$333 milhões de dólares, só nos EUA.

Dehaan (2012) prossegue relatando que a potência térmica atingida pelas velas é de 50 a 80 W com uma temperatura de chama **média** de 800 °C a 900 °C, mas de forma semelhante aos fósforos, a chama tem zonas que podem chegar de 1200 °C a 1400 °C. É reportado pelo autor que uma vela tem energia suficiente para derreter cobre ou até mesmo fios de ferro de pequeno diâmetro.

Estudos mostram que a temperatura da chama de uma vela é maior acima dela do que dos lados, justificando porque em alguns casos de incêndio elas conseguem ignizar combustíveis acima dela, mas não ao lado.

Uma vela bem produzida precisa ter a quantidade correta de cera - se tiver pouca acaba por fazer com que o pavio se queime e a chama apague; se tiver demais o pavio

irá afundar na cera. Teoricamente a cera da vela tem como produtos de sua combustão o dióxido de carbono e água. Dehaan (2012) informa que a taxa de liberação de calor em uma vela, e conseqüentemente a altura que as chamas podem chegar, é proporcional a quão exposto está o pavio.

É mencionado ainda que o perigo da vela está associado quando materiais combustíveis entram em contato com a chama da vela, e as probabilidades de acidente aumentam quando se leva em consideração que existem velas capazes de queimar por vários dias seguidos.

14.2 Fontes secundárias de ignição

Segundo a distinção trazida por Dehaan (2012), nas fontes secundárias de ignição estão inclusas as faíscas, objetos e superfícies quentes, calor radiante, fricção e reação química.

14.2.1 Faíscas e arcos voltaicos

Um arco voltaico não é rapidamente distinguível de uma faísca, exceto pela duração. Babrauskas *apud* Dehaan (2012, p. 174) sugere que um arco voltaico representa uma corrente elétrica estável, enquanto uma faísca elétrica é o início de uma corrente elétrica entre dois condutores. O arco voltaico tem uma duração de alguns segundos, enquanto a faísca é considerada como quase instantânea.

Quanto mais tempo um arco voltaico dura, mais tempo ele tem para aumentar a temperatura do ambiente. A energia do arco pode ser milijoules até milhares. De acordo com Dehaan (2012), uma vez que a duração de um arco voltaico pode ser de milissegundos até milhões de segundo, a quantidade de energia transferida é muito variável, podendo ser do choque estático que sentimos em dias frios de inverno até uma descarga elétrica atmosférica. Destarte, a capacidade deles em induzir a ignição de combustíveis vai depender muito do tempo que durou a transferência de energia e sensibilidade do material para conduzir energia elétrica.

Por fim, passemos a falar um pouco sobre as faíscas. Elas podem ser produzidas de diversas formas, seja pelo contato veloz entre dois sólidos – como uma faca contra uma pedra –, pelo aquecimento de certos materiais, contato vigoroso entre dois materiais

semelhantes, entre outros. Essas faíscas contém energia suficiente para fazer com que vapores inflamáveis entrem em ignição.

14.2.2 Objetos e superfícies aquecidos

De acordo com Dehaan (2012), a maioria dos objetos se aquece pelo contato direto com fontes de calor, pela fricção mecânica ou pela passagem de uma corrente elétrica por eles. Caso materiais combustíveis entrem em contato com eles, poderão entrar em ignição e espalhar as chamas para outros locais. A quantidade calor que pode ser acumulado por um objeto é uma função de de sua massa e de sua capacidade térmica.

O autor prossegue dizendo que a ignição de combustíveis por objetos e superfícies quentes, no entanto, não é tão simples. A ignição de qualquer combustível depende da quantidade de calor que consegue transferir para o material e da duração do contato entre eles. Uma gota de um líquido combustível volátil que cai em uma chapa quente terá mais chances de se resfriar, evaporar e, por convecção, ter seus vapores combustíveis levados para longe da superfície por convecção do que conseguir entrar em ignição.

Dehaan (2012) traz uma informação muito interessante: em combustíveis líquidos em geral, quanto menor é o ponto de fulgor do líquido, mais quente precisa estar a superfície aquecida para que o líquido consiga entrar em ignição; e também que a ignição de combustíveis líquidos ou gases por superfícies aquecidas é mais fácil se os combustíveis estiverem confinados

Por mais que pareça correto apenas medir a temperatura da superfície aquecida e compará-la com a temperatura de ignição do combustível, isto não é correto. Dehaan (2012) exemplifica com o caso de uma lâmpada incandescente. Caso fosse medido a temperatura dela, digamos 200 °C, isto não corresponderia a quantidade de calor que ela pode transferir a materiais combustíveis, e mesmo o mais simples dos aquecedores é um risco em potencial para o início de incêndios.

Por fim, Dehaan (2012) expõe que quanto maior for o fluxo radiante de calor transferido ao combustível, menor será a temperatura de ignição observada, fazendo com que o tempo para que o combustível entre em ignição seja dramaticamente reduzido. Caso o material que esteja sendo aquecido seja do tipo que carboniza, é mais fácil que ele entre em ignição se ele criar poros que permitam que uma ignição sem chamas se processe. É possível, ainda, que a carbonização faça com que a pirólise necessite de mais energia para ocorrer.

14.2.3 Fricção

O calor induzido por fricção ganha importância especial quando estamos falando de maquinários. Máquinas mal projetadas ou lubrificadas podem fazer com que o atrito entre as peças faça com que elas esquentem ao ponto de ignizar combustíveis próximos, ou mesmo soltar faíscas que podem cair sobre materiais combustíveis de fácil ignição. Dehaan (2012) afirma que a falta de lubrificação de máquinas é a causa mais comum de incêndio nestas situações.

Se a fricção entre duas superfícies for muito forte, pode fazer com que uma delas se desintegre em uma explosão de fagulhas incandescentes. A temperatura das partículas será limitada pela temperatura de fusão do material que a superfície é feita. Um exemplo concedido por Dehaan (2012) é a de uma liga de cobre/níquel, a qual atingirá uma temperatura máxima de 300 °C e não estar incandescente. Já os fragmentos do aço podem chegar a temperaturas de 1400 °C e brilhar com uma cor branca.

14.2.4 Calor Radiante

Segundo Dehaan (2012) o calor que irradia de um incêndio pode às vezes iniciar outros focos, mas essa ignição não é primária já que é resultado de um foco de incêndio já muito bem estabelecido. O investigador de incêndio deve ter sempre em mente que o contato físico entre o combustível a fonte de calor nem sempre é necessário, pois o calor irradiado por ser suficiente para fazer com que os combustíveis atinjam suas temperaturas de ignição.

Nestes casos as propriedades de absorção e reflexão de calor do combustível são muito importantes, assim como a densidade e condutividade térmica. Todas essas variáveis irão mostrar o quão rápido o material irá absorver calor e o quão rápido ele conseguirá dissipá-lo – mostrando se ele é passível de acumular calor suficiente para atingir a temperatura de ignição ou não.

Uma pesquisa conduzida por Dehaan (2012) mostrou que as pessoas que dizem que vidros, latas e outros objetos refletivos são os responsáveis por incêndios florestais estão erradas. Isto porque o objeto teria que conseguir focar em um único ponto grande parte da energia solar e o combustível seco teria que estar no exato local desta focalização. Garrafas, vidro quebrado ou refletores não tem um ponto focal apropriado para causar a ignição nestes tipos de combustível.

Outros exemplos de fontes de calor por fricção fornecidos pelo autor são os discos de freio de veículos, exaustores e os catalisadores que ficam dentro deles. Todos tem potencial para, por radiação ou condução, levar à ignição a maioria dos combustíveis.

Por fim, cabe dizer que Dehaan (2012) traz que quando se trata de madeira, mesmo fluxos de calor de pequena monta podem fazer com que ela entre em processo de carbonização. Isto pode acontecer se a madeira for mantida a uma temperatura de 105 °C ou mais por longos períodos de tempo. Estas temperaturas são facilmente obtidas em aquecedores, fornalhas, caldeiras e até chaminés.

14.2.4 Reações químicas

Existe um número enorme de combinações de substâncias químicas que irão gerar reações químicas extremamente exotérmicas. Dehaan (2012) exemplifica que em alguns armazéns substâncias corrosivas acabaram entrando em contato com metais ou oxidantes fortes como limpadores de piscinas e acabaram por gerar reações exotérmicas que causaram grandes incêndios.

Este tipo de fonte de ignição geralmente não é usada por incendiários, pois é necessário um conhecimento técnico que geralmente não está a disposição de qualquer um.

Existe também as reações exotérmicas causadas por reações bioquímicas. Mas estas serão tratadas com mais atenção no próximo capítulo, referente a combustão espontânea.

Capítulo 15 – Combustão Espontânea

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar como ocorre a combustão espontânea, com suas palavras e de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar pelo menos dois exemplos de combustíveis que podem se auto aquecer ao ponto de se autocomburir, de acordo com o que foi repassado na lição.

15.1 Combustão Espontânea

Alguns combustíveis podem passar por um processo em que irão se aquecer espontaneamente, a tal taxa que, sua absorção de calor será maior do que a de liberação, fazendo com que a temperatura do material aumente e se acumule.

Segundo Aragão (2010, p. 210) combustão espontânea é o “[...] processo físico-químico através do qual determinados materiais se inflamam sem o concurso de uma chama ou faísca de ignição. O corpo absorve oxigênio do ar atmosférico ou de outros corpos e com isso se aquece de tal modo que é atingido o ponto de inflamação [...]”.

Aragão (2010) prossegue dizendo que nos casos de materiais sólidos, existem duas fatores que favorecem a combustão espontânea: a porosidade do material – a qual irá permitir que o oxigênio se difunda no material – e que eles produzam carvões rígidos quando estiverem em processo de decomposição térmica.

15.1.1 Características do autoaquecimento.

De acordo com Dehaan (2012, p. 207) há uma regra geral para o autoaquecimento: **a massa de material necessário para atingir a ignição é inversamente proporcional a sua reatividade, e o tempo necessário para atingir a ignição é diretamente proporcional a massa requerida.**

O supracitado autor ainda menciona que reações catalíticas precisam de pouco material, pois a reação é extremamente exotérmica e pode liberar calor suficiente em apenas alguns segundos; já a oxidação de óleos podem desencadear a reação em algumas horas e necessitam apenas de 25 a 50 ml do produto. Para o autoaquecimento do carvão ativado são necessários alguns quilos e um tempo que pode ir de várias horas a alguns dias.

Quanto maior for a temperatura inicial do material, menos é preciso esperar para que a autoignição ocorra. Dehaan (2012) relata que roupas de algodão que saíram da secadora de roupas já se autoignizaram apenas algumas horas depois.

Aragão (2010, p. 211) traz em sua obra algumas condições necessárias para que uma combustão espontânea ocorra, são elas: o material deve ter a tendência para a combustão espontânea; o material tem que oferecer uma grande superfície relativa para permitir a adequada e suficiente absorção de oxigênio; as condições de armazenamento devem ser de forma a impedir a dissipação do calor; por fim, o material deve ter baixo ponto de inflamação.

Passemos agora a falar um pouco sobre o autoaquecimento em óleos.

15.1.2 Autoaquecimento em óleos

Segundo Dehaan (2012) os óleos são o produto mais comum encontrado em residências que pode entrar em um processo de autoignição. Alguns exemplos são o óleo de linhaça, de peixe e de soja. Óleos deste tipo sofrem um endurecimento devido a oxidação das ligações duplas dos ácidos graxos contidos nos óleos, principalmente no ácido linolénico.

A medida que estes óleos vão se oxidando, um polímero vai se formando, como uma camada de um plástico natural. De acordo com Dehaan (2012), o processo de oxidação é dependente do oxigênio e gera calor, mas a taxa de geração deste calor irá ser influenciada pela quantidade de óleo que reage com ar atmosférico. Uma determinada quantidade de óleo de linhaça não irá se autoaquecer a níveis apreciáveis em uma lata, mas se essa mesma quantidade for espalhada em um substrato poroso como uma roupa de algodão, então poderá haver condições para uma oxidação rápida e consequente aquecimento. Caso o calor consiga ser concentrado – vale dizer, não consiga se dissipar com facilidade -, mas sem impedir o fluxo de mais oxigênio, a reação irá ser ainda mais rápida.

Dehaan (2012) ainda menciona que o óleo de linhaça cru produz o efeito do autoaquecimento, mas raramente irá se autoignizar pois ele contém ácidos oleico e linoleico – os quais não são tão reativos quanto o linolénico. No entanto, o óleo de linhaça fervido – como um processo para concentrar os ácidos insaturados – poderá fazer com que trapos de roupa consigam entrar em ignição em poucas horas.

O supracitado autor ainda traz que a autoignição não ocorre em óleos lubrificantes e **quase nunca** ocorre em óleos usados na gastronomia – como o óleo de amendoim, milho, oliva e canola. A exceção trazida é a de se estes óleos estiverem embebidos em um material poroso e forem expostos a altas temperaturas.

Novamente citamos Dehaan (2012) pois ele traz que a reatividade de um óleo em entrar em ignição pode ser medido pelo número iodino²⁴. Apesar de haver exceções, quanto maior é o número iodino mais suscetível será o óleo à autoignição. O óleo de linhaça possui um valor que varia de 173 a 201; óleo de soja um valor que varia de 137 a 143; óleo de algodão um valor que vai de 108 a 110; o óleo de milho um valor que varia de 111 a 130; e por fim, o óleo de amendoim um valor que vai de 85 a 105.

²⁴Iodine number, no original

Figura 62: Trapos embebidos com óleo de linhaça entram em ignição



Fonte: Dehaan (2012)

A figura acima mostra as marcas causados pelo autoaquecimento de óleo de linhaça em um trapo; na imagem abaixo vemos a fumaça que ocorre devido a combustão *smoldering* causada por este autoaquecimento; e finalmente, na última imagem, as chamas alimentadas pelo oxigênio atmosférico quando os trapos são colocados em um ambiente aberto.

15.1.3 Outros materiais sujeitos ao autoaquecimento

Dehaan (2012) traz como exemplo de outros materiais sujeitos ao autoaquecimento o carvão recém retirado das minas, pois muitas vezes este material fica em grandes pilhas em áreas de espera e a umidade é um fator preponderante no autoaquecimento deste material. No entanto, a reação da umidade com o carvão é extremamente lenta e geralmente o calor consegue se dissipar mais rápido do que consegue ser gerado.

Já Aragão (2010) traz como exemplos os elementos FeS, FeS₂ e Fe₂S₃, os quais são formados em tanques de armazenamento de petróleo e que são capazes de se autocomburirem se entrarem em contato com o oxigênio atmosférico.

Aragão (2010) continua trazendo outros exemplos: o fósforo branco, que possui a propriedade de entrar em combustão quando em contato com o oxigênio; o pó de alumínio, magnésio e zinco que infamam-se na presença da umidade atmosférica; e também a reação da cal viva com a água, que possui a reação química apresentada abaixo



O calor gerado por esta reação é suficiente para induzir a ignição de materiais combustíveis próximos de onde a cal viva está se misturando com a água.

REFERÊNCIAS

ACORDI, Charles Fabiano; BILUK, Edson Luiz; KIRCH, Luiz Henrique. **Curso de Inspectores de Incêndio**: Curso de Formação de Sargentos. Florianópolis: 2014. Apostila.

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. **Incêndios e explosivos**: uma introdução à engenharia forense. São Paulo: Millenium, 2010.

CARDOSO, Luiz Antônio. **Prevenção de Incêndios**: uma retrospectiva dos primeiros anos de atividades técnicas em Santa Catarina. Florianópolis: Papa-Livro, 2014.

DAEID, Niamh Nic. **Fire Investigation**. Florida: CRC Press, 2004.

DEHAAN, John D. Kirk's Fire Investigation. 7a edição. Vallejo, California – USA: Peson Prentice Hall, 2012.

FLATLEY, Christopher. Flashover and Backdraft: A primer. **Fire Engineering**, 03 de janeiro de 2005. Disponível em:
<<http://www.fireengineering.com/articles/2005/03/flashover-and-backdraft-a-primer.html>>.
Acessado em 09 de setembro de 2015.

LAPORT, Gabriela C. P. **Análise experimental do fenômeno de *boilover* em hidrocarbonetos**. 2015. 143 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

MAUS, Álvaro. **Segurança contra sinistros**: Teoria geral. Florianópolis: Editograf, 2006.

OLIVEIRA, Marcos de. **Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural** – Comando e controle em operações de incêndio. Florianópolis: Editograf, 2005.

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. São Paulo: Makron Books, 2004.

SANTA CATARINA. Corpo de Bombeiros Militar. DtzPOP nº 002/Comdo G CBMSC/2204. **Diretriz de Procedimento Permanente sobre o serviço de Perícia de Incêndio e Explosões**. Florianópolis, 2004.

SARTE, Anderson Medeiros. **Perícia de Incêndio**: uma abordagem sobre a coleta de amostras sólidas e líquidas em edificações sinistradas pelo fogo. 2009. 117 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Gestão de Emergências). Universidade do Vale do Itajaí – Univali, Santa Catarina, 2009.

SOLOMONS, T.W. Grahan. **Química Orgânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VIDAL, Vanderlei Vanderlino. **Cromatografia na perícia de incêndios**: técnicas para detecção de agentes acelerantes. 2007. 65 f. Monografia (especialização *Lato Sensu em Segurança Pública*) – Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Santa Catarina, 2007.

APÊNDICE II – Proposta de apostila para o Curso de Inspetores de Incêndio

Palavra inicial

Caro aluno, o material didático que você tem em mãos foi fruto de uma pesquisa científica rigorosa, a qual contou com a participação dos peritos de incêndio da corporação e com a expertise do autor como Engenheiro Químico. A revisão bibliográfica para a elaboração deste manual contou com literaturas estrangeiras e nacionais. Procurei utilizar os referenciais mais atualizados que consegui encontrar, tanto os relacionados à ciência do fogo e à perícia de incêndio quanto os afeitos à química pura. Espero que este guia consiga orientar melhor seus estudos no que diz respeito à Ciência do Fogo e, talvez, inspirar o mesmo amor que sinto pela ciência. Críticas podem e devem ser feitas para que a qualidade dos investigadores de incêndio catarinenses seja cada vez mais elevada. Bons estudos!

SUMÁRIO

1 Histórico do fogo.....	232
2 Perícia de incêndio em Santa Catarina.....	235
3 Grupos químicos de interesse.....	239
3.1 Hidrocarbonetos.....	239
3.2 Alcoóis.....	241
4 Termoquímica e termodinâmica.....	243
4.1 Lei Zero da Termodinâmica.....	243
4.2 Primeira Lei da Termodinâmica.....	243
4.3 Entalpia.....	244
4.4 Calor Específico.....	246
4.5 Calor Latente.....	247
5 Noções de cinética química.....	250
5.1 Cinética Química: fatores que alteram a velocidade de uma reação química.....	250
6 Formas de transmissão de calor.....	253
6.1 Condução.....	253
6.2 Convecção.....	255
6.3 Radiação.....	259
7 Propagação do fogo através dos elementos da construção.....	262
8 Classes de incêndio.....	273
8.1 Incêndio Classe A.....	273
8.2 Incêndio Classe B.....	274
8.3 Incêndio Classe C.....	275
8.4 Incêndio Classe D.....	275
9 Tetraedro do fogo.....	277
9.1 Combustível.....	279
9.2 Comburente.....	285
9.3 Calor.....	286
9.4 Reação em Cadeia.....	287
10 Flashover, backdraft, boilover e BLEVE.....	289
10.1 Flashover.....	289
10.2 Backdraft.....	293
10.3 Boilover.....	297
10.4 BLEVE.....	299

11 Evolução típica de incêndios.....	302
11.1 Início.....	302
11.2 Crescimento.....	303
11.3 Crescimento à Flashover.....	305
11.4 Pós Flashover.....	306
11.5 Decaimento.....	306
11.6 Influência das Condições Ambientais.....	308
12 Avaliação da temperatura de incêndios.....	313
13 Tipos de chamas.....	319
14 Combustão espontânea.....	322

Capítulo 1 – Histórico de Fogo

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar as principais características das teorias de Heráclito, Empédocles e Aristóteles, de acordo com a lição;
- 2) Explicar, com suas palavras, o que era a teoria do flogístico, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Citar duas contribuições dadas pelo cientista francês Antoine Laurent de Lavoisier à Ciência do Fogo, de acordo com o que foi repassado na lição.

1 Histórico do Fogo²⁵

O fogo foi sempre uma das preocupações da humanidade e o seu estudo ajudou a modelar o próprio desenvolvimento da ciência. O homem primitivo só conhecia o fogo em incêndios de florestas, concebendo-o como um segredo dos deuses. Os gregos contavam que o herói Prometeu roubou o fogo de Zeus para devolvê-lo aos homens. Há pouco tempo, aprendemos a reproduzir e a dominar o fogo (70 mil anos), e a sua conquista foi tão importante para a humanidade que quase todos os povos, inclusive os indígenas, têm uma história de desenvolvimento semelhante, em função do progresso que fizeram no domínio do fogo. O calor liberado na queima dos combustíveis foi a fonte fundamental de energia dos povos primitivos. Tempos se passaram até que o fogo, embora utilizado diariamente, tivesse a sua natureza conhecida. Diversas culturas concebiam explicações diferentes para o fogo. Para algumas, o fogo era uma dádiva dos deuses. Os astecas tinham Xuihtecuhtli o senhor do fogo.

Desde que o homem pré-histórico levou uma tocha acesa para sua caverna, descobriu que o fogo era um aliado que o acompanharia séculos afora. Aos poucos, foi descobrindo a sua utilidade para iluminar a escuridão, afugentar animais, cozinhar alimentos e vencer o frio. Porém houve um dia em que o fogo tornou-se incontrolável, surgindo então o primeiro incêndio, revelando a atônitos olhares e mentes ignaras o lado perigoso do fogo, os seus efeitos destruidores, a capacidade de causar ferimentos, daí a

²⁵O texto foi reproduzido na íntegra do livro Incêndios e Explosivos – Uma introdução à engenharia forense. Todos os créditos, então, vão ao pioneiro autor.

necessidade de controlá-lo. Por isso mesmo, alguns pensadores acreditam que o primeiro trabalho científico de nossos ancestrais consistiu, exatamente, em melhor conhecer e dominar o fogo, muito embora atribuíssem a sua origem a divindades.

No século 5 a.C, na Grécia, os filósofos começaram a buscar explicações para os fatos não mais na ação dos deuses, mas na própria natureza. Numa dessas teorias, **Heráclito** supôs ser o fogo a base de tudo o que existia. **Empédocles**, na chamada **teoria dos quatro elementos**, dizia que todas as substâncias eram formadas por terra, ar, água e fogo, combinados em diferentes proporções. Raciocinava, por exemplo, que um pedaço de madeira contém terra porque é sólido e pesado; contém água porque, ao ser aquecido, desprende água; ar porque emite fumaça, e fogo porque contém chamas. Acrescentando o quinto elemento, no século IV a.C, **Aristóteles**, filósofo de grande influência, complementou a teoria dos quatro elementos, defendendo a propositura de que qualquer um daqueles elementos poderia ser transformado em outro, já que os quatro elementos eram constituídos de algo em comum, o éter.

Inobstante a **teoria dos átomos** combinada com a dos elementos, desenvolvidas por **Demócrito**, o pensamento de Aristóteles, que não acreditava em átomos, tornou-se ainda mais influente ao longo dos 2 mil anos seguintes, e suas ideias sobre os elementos acabaram prevalecendo por todo esse tempo. Com isso, a visão aristotélica atrasou o desenvolvimento da física e da química, agravada ainda pela falta de experimentação dos gregos, não só devido à ausência de adequados recursos técnicos posteriormente desenvolvidos, mas, sobretudo, **pela supervalorização das atividades mentais em detrimento das atividades manuais**, exclusividade dos escravos.

Felizmente, a ciência, de forma paralela ao progresso da humanidade, também se desenvolveu, jogando por terra o ideário grego. Construíram-se monumentais edifícios, porém sem nenhuma firmeza. A ciência moderna nasceu por volta do século XVI com a Renascença, a partir da qual se estabeleceu a necessidade de adotar-se o saber humano de rigorosa certeza. No século XVII, **Robert Boyle**, físico e químico inglês, considerado por muitos, **iniciador da química moderna**, conseguiu a sistematização do conhecimento químico sobre muitas substâncias e elementos a partir da acumulação de fatos experimentais dos quais estabelecia generalizações, valendo-se do método indutivo, proposto por **Bacon**, até hoje empregado nas ciências experimentais.

Reportando-se à história, verifica-se que o progresso das ciências coincide com os acontecimentos marcantes da humanidade, bem assim com a evolução do pensamento, patenteando a contribuição da filosofia para esse desiderato, às vezes ignorada ou

indevidamente menosprezada, nas transformações que assinalaram os progressos da civilização moderna em suas várias fases. Tanto é assim que **Francis Bacon** (1560-1626), político e filósofo inglês, grande chanceler, barão de Verulam e conde de Sant Albans, transformou completamente a lógica, ao desenvolver o princípio da indução, raciocínio pelo qual se passa de proposições menos gerais para uma outra mais geral, fundamentada na experiência, criando o método científico.

Bem mais tarde, para justificar o fato experimental de que muitas substâncias tinham sua massa reduzida ao queimar, o químico alemão **George Ernest Stahl** (1660-1734) propôs a **teoria do flogístico** (do grego phlogistos) ou fogo princípio, uma substância fluida que fazia parte do material original e que escaparia durante a combustão.

A **teoria do flogístico** entretinha muitos pensadores, foi útil para explicar as reações químicas, ajustando-se perfeitamente aos fatos conhecidos na época, razão pela qual foi referendada pela comunidade científica até 1774, quando o sábio francês **Antoine Laurent de Lavoisier** (1743-1794) provou que ela estava errada ao anunciar a lei da conservação da massa, relativa às reações químicas, segundo a qual, numa reação química, não ocorre alteração da massa do sistema, donde, através de experimentos relativamente simples, demonstrou que o fogo era consequência de uma reação química de combustão.

Assim, foi demolida a teoria do flogístico. Foi ainda **Lavoisier** quem batizou de oxigênio o gás fundamental à combustão, descoberto no mesmo ano de 1774 por **Joseph Priestley** (1733-1809), ao verificar que o gás intensificava a chama de uma vela, precedido por outro inglês, **Robert Hooke** (1653-1703), que em 1665 descobriu que havia algo no ar essencial à combustão.

Desde as primitivas cavernas, passando pelos gregos e romanos, que, entre outras aplicações, aqueciam os pisos de suas casas, tendo estes criado um sofisticado sistema de aquecimento de pisos denominado hipocausto, o fogo continua sendo uma necessidade imperiosa da civilização moderna, fazendo parte do nosso cotidiano, seja na indústria, nas moradias, no campo ou nas cidades, vez por outra escapando do controle do homem ou aparecendo em lugar não desejado, dando origem aos incêndios, responsáveis por vultosos prejuízos materiais e, mais lamentavelmente, pelo ceifamento de vidas humanas.

O problema dos incêndios é encarado com tanta seriedade que, em alguns países de vanguarda, existem programas de educação sobre o fogo, nas escolas.

Capítulo 2 – Perícia de Incêndio em Santa Catarina

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar qual foi a escola de formação dos primeiros peritos de incêndio catarinenses;
- 2) Explicar, com as próprias palavras, qual foi a primeira ocorrência onde um perito de incêndio catarinense atuou;
- 3) Diferenciar, com suas palavras, Perito de Incêndio e Inspetor de Incêndio, de acordo com o repassado na lição.

2 Histórico da investigação de incêndio em Santa Catarina

O ano que fez história para o Corpo de Bombeiros Catarinense no quesito de investigação de incêndios foi o de 1979. Cardoso (2014) traz que, no referido ano, o então Comandante do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Santa Catarina (CBPMSC), Tenente Coronel Pacheco, no intuito de ampliar as atividades executadas pelo Centro de Atividades Técnicas (CAT), enviou ao Corpo de Bombeiros do Distrito Federal os primeiros oficiais catarinenses para que fizessem o Curso de Perícia de Incêndio. Os escolhidos foram o Capitão Ulisses Kuntze e o 1º Tenente Luiz Antônio Cardoso.

Segundo Cardoso (2014) o objetivo dessa especialização dos integrantes do CAT era de melhorar as atividades preventivas, detectar e corrigir procedimentos incorretos de combate a incêndio e na preservação de locais de sinistros. Cardoso (2014, p. 102) faz a analogia de que as atividades periciais eram o “espelho retrovisor” que possibilitava avaliar o desempenho das atividades preventivas e operacionais de combate a incêndio.

Ainda sobre a importância e os objetivos da perícia de incêndio, continua Cardoso (2014, p. 102):

Servia para avaliar a adequabilidade e funcionalidade dos sistemas preventivos dimensionados para as edificações e os riscos que elas reuniam. Serviam também para avaliar o desempenho operacional das guarnições em ações de combate a incêndios e nos cuidados na preservação dos locais sinistrados. Manter o estado do local visava deixá-los idôneos para os trabalhos de perícia, possibilitando a investigação das evidências e provas existentes.

Cardoso (2014) conta que o primeiro laudo pericial elaborado pelos primeiros peritos do CAT foi o de uma ocorrência envolvendo a explosão de um volume de Gás

Liquefeito de Petróleo (GLP). Era uma manhã de domingo em janeiro de 1980, por volta das 10 horas. A ocorrência foi atendida pelo Chefe do Socorro²⁶ 1º Tenente Norival de Lorenzi Cancelier. As primeiras providências para a perícia no local, no entanto, foram as realizadas pelo então Capitão Luiz Antônio Cardoso.

Continua Cardoso (2014) contando que a explosão aconteceu em uma quitinete do 10º andar do edifício Canadá, localizado na Rua Marechal Guilherme, no centro de Florianópolis. Por meio da investigação da cena, constatou-se que a explosão decorreria de uma Ação Pessoal Acidental quando da utilização descuidada de um fogão à gás.

Cardoso (2014) relata que a onda de choque provocada pela explosão projetou pedaços de alvenaria no interior e para o exterior da edificação. Tais fragmentos causaram ferimentos em uma moradora da unidade residencial e danos materiais extensos no prédio, em uma casa vizinha ao edifício e a veículos estacionados ao longo da via pública.

Após a formação destes pioneiros no estudo e na investigação de sinistros, outros também foram enviados à academia do CBMDF para que voltassem com a titulação de Perito de Incêndio – que além de atribuições de execução da atividade, também necessita coordenar e gerenciar as atividades no batalhão onde estiver lotado -, totalizando um total de dez militares habilitados na corporação. Segundo Sarte (2009, p.33) são eles:

- 2º Ten PMSC Anselmo Souza (1982)
- 1º Ten PMSC João Duarte Vidal (1986)
- Maj PMSC Luiz Antônio Cardoso – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC João Duarte Vidal – Curso de Extensão em Perícia (1988)
- Cap PMSC Álvaro Maus (1992)
- 1º Ten PMSC Cláudio Gomes (1992)
- 2º Ten PMSC Charles Fabiano Acordi (1998)
- 1º Ten PMSC Luiz Henrique Kirch (2000)
- 1º Ten PMSC Edson Luiz Biluk (2002)
- 1º Ten PMSC Vanderlei Vanderlino Vidal (2002)

Destes dez peritos, somente continuam na ativa quatro: Tenente-Coronel Biluk, Tenente-Coronel Henrique, Tenente-Coronel Vanderlino e Major Charles. Sendo que dois

²⁶Chefe de Socorro é como é denominado o comandante da guarnição de serviço de determinado dia. Geralmente é um Sargento.

deles já se encontram em vias de passar para a reserva remunerada (Tenente-Coronel Biluk e Tenente-Coronel Henrique).

De acordo com Sarte (2009, p. 33), em vista da escassez de oficiais peritos formados, dos custos de enviar um militar para habilitar-se em Brasília – uma vez que o curso de formação possui duração aproximada de seis meses e há direito de diárias para o aluno – e da impossibilidade de enviar um perito para cada ocorrência de incêndio no estado, o CBMSC tomou a decisão de preparar seus praças (Subtenentes, Sargentos, Cabos e Soldados) para realizarem investigações de incêndio e produzirem Informes Periciais, os quais são supervisionados por peritos.

Esta capacitação se dá por meio do Curso de Inspetores de Incêndio nível I, com carga horária aproximada de 60 horas/aula.

O Informe Pericial que é elaborado pelos Inspetores de Incêndio tem, segundo Vidal (2007, p. 21), “a finalidade de estudos internos para a Corporação, mas poderá ser tornado público, mediante solicitação de autoridade policial, judicial ou do proprietário ou responsável pela edificação, mas nesse caso, o documento passará pelo crivo de um Perito de Incêndios”.

Os Inspetores atuam logo após toda e qualquer ocorrência de incêndio em edificações, com vistas a identificar todas as informações disponíveis no local do sinistro. De modo a proteger os Inspetores de determinados questionamentos legais, o Comando Geral, por meio da Diretriz de Procedimento Operacional Padrão (POP) Nr 24 – CmdoG, dita que:

[...]

8) efetuar a comunicação da ocorrência de incêndio ou explosão em edificação à Delegacia de Polícia Civil da circunscrição da ocorrência, podendo fazê-lo de forma verbal e mesmo por telefone, registrando-se, obrigatoriamente, no relatório de ocorrência (E-193), o nome do servidor comunicado;

9) qualquer ocorrência de incêndio e/ou explosão em edificação, sempre que houver vítima fatal, além de comunicar à Delegacia de Polícia Civil, deve comunicar a equipe do IGP e aguardar a sua chegada, iniciando os trabalhos de investigação com a presença desta equipe;

10) nas ocorrências de incêndio e/ou explosão em edificação, que houver, de pronto, evidências de ação humana direta, ou mesmo do incêndio ocorrer vítimas não fatais, verificar junto ao IGP se os mesmos realizarão investigação no local; caso positivo, aguardar e realizar a investigação de forma conjunta, de maneira a não descaracterizar o local; caso negativo, prosseguir com a investigação;

[...]

12) se durante os trabalhos de investigação do local do sinistro, forem encontradas evidências de ação humana direta, interrompe-se os trabalhos e comunica-se de imediato ao perito de incêndio do BBM, ou outro oficial designado para esta função e à Delegacia de Polícia Civil e ao IGP, para conforme a intenção da Polícia Civil ou do IGP, procedam o acompanhamento da investigação de incêndio a ser desenvolvida pelo Corpo de Bombeiros Militar, ou realizem conjuntamente os trabalhos periciais;

13) ainda que durante os trabalhos de investigação, não sejam levantadas evidências imediatas, mas que ao final, conclua-se como causa do incêndio ação humana direta e o IGP não tenha realizado a perícia, encaminha-se de imediato, cópia do laudo ou informe pericial ao Delegado de Polícia da Comarca, juntamente com as provas levantadas;

O ano de 2015 será um ano que entrará para história da investigação de incêndio em Santa Catarina, da mesma maneira como o foi o ano de 1979. Isso se deve ao fato de que em 2015 será ministrado o primeiro Curso de Perícia de Incêndio no estado catarinense.

O curso terá aproximadamente 400 horas/aula, sendo que 30 horas são dedicadas ao estudo da Ciência do Fogo. O curso tem previsão de início para o mês de setembro de 2015.

Capítulo 3 – Grupo químicos de interesse

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Apresentar ao menos três características típicas dos hidrocarbonetos, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Apresentar ao menos três características típicas dos alcoóis, de acordo com o que foi repassado na lição.

3.1 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são, por definição, aqueles compostos que possuem somente átomos de carbono e hidrogênio em sua estrutura. Este grupo ainda é subdividido em: alcanos, alcenos, alcinos e compostos aromáticos.

De acordo com Solomons (2013), as principais fontes de alcanos são o gás natural e o petróleo. Eles são hidrocarbonetos que não possuem ligações múltiplas entre os átomos de carbono e são reconhecidos pela terminação “-ano” no nome de seus compostos. Dois grandes exemplos são o metano e o butano. O metano é o principal componente do gás natural e o butano é o principal componente do GLP.

Os alcenos, segundo Solomons (2013), são o grupo que tem dois dos mais importantes produtos químicos da indústria dos EUA: o eteno e o propeno. O eteno é utilizado como ponto de partida para a produção de muitos outros compostos como o óxido de etileno, o etanal e o polietileno. Já o propeno é usado na fabricação do polipropileno, além de ser base para a síntese da acetona e do cumeno. Os alcenos possuem pelo menos uma ligação dupla carbono-carbono em sua estrutura e podem ser reconhecidos pela terminação “-eno” em seus nomes.

Os alcinos são aqueles que contém pelo menos uma ligação tripla carbono-carbono e os reconhecemos pela terminação “-ino” em seus compostos. O alquino mais simples – e mais conhecido – é o etino, também conhecido como acetileno, usado em soldas.

Não trataremos dos compostos aromáticos pois sua estrutura faz com que tenham um comportamento diferente dos hidrocarbonetos de cadeia aberta.

Trataremos agora de algumas propriedades deste grupo de forma geral.

Os hidrocarbonetos por serem compostos somente de hidrogênio e carbono não possuem momento de dipolo significativo, sendo, portanto, considerados apolares. Em razão deste fato, os hidrocarbonetos **não são solúveis em água** ou em qualquer outro solvente polar. É de se esperar que se algum hidrocarboneto for utilizado como acelerante em um incêndio, teoricamente será possível colher indícios de seu uso, pois a água utilizada para apagar o fogo não o solvatará.

Os pontos de ebulição crescem a medida que aumenta a cadeia carbônica do composto. Por exemplo, o hexano tem seis carbonos em sua estrutura e um ponto de ebulição de 68 °C. Já o heptano possui sete carbonos em sua estrutura e ponto de ebulição de 98,42 °C.

Abaixo apresentamos uma imagem que mostra os quatro primeiros alcanos, seus radicais e estrutura.

Figura 1: Alcanos

ALCANO	GRUPO ALQUILA	ABREVIÇÃO	ESTRUTURAS EM BASTÃO	MODELO
CH ₃ -H Metano	CH ₃ - Metila	Me-		
CH ₃ CH ₂ -H Etano	CH ₃ CH ₂ - Etila	Et-		
CH ₃ CH ₂ CH ₂ -H Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ - Propila	Pr-		
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ -H Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ - Butila	Bu-		

Fonte: Solomons (2012)

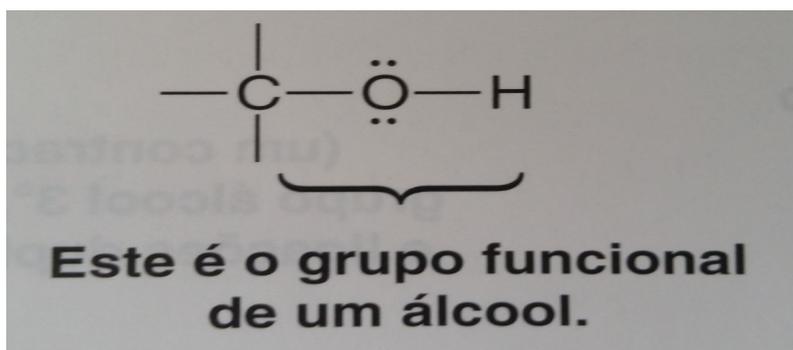
A título de curiosidade, os grupos seguintes, até dez, são: pent-; hex-; hept-; oct-; non-; e dec-. Então um alceno com 6 carbonos se chama **hexeno**, um alcino com oito carbonos se chama **octino** e um alcano com cinco carbonos se chama **pentano**.

Dentre os combustíveis mais comuns encontrados entre os hidrocarbonetos estão o gás de cozinha, a gasolina, o querosene, muitos solventes vendidos tem como base os hidrocarbonetos e o diesel.

3.2 Alcoóis

O representante mais conhecido deste grupo químico é sem dúvida o álcool etílico ou etanol, tanto por ser usado como combustível de carros como por ser o álcool que vai nas bebidas alcoólicas. Para que um composto seja considerado um álcool é necessário que a hidroxila (-OH) esteja ligada a um carbono **saturado** – ou seja, com ligação simples.

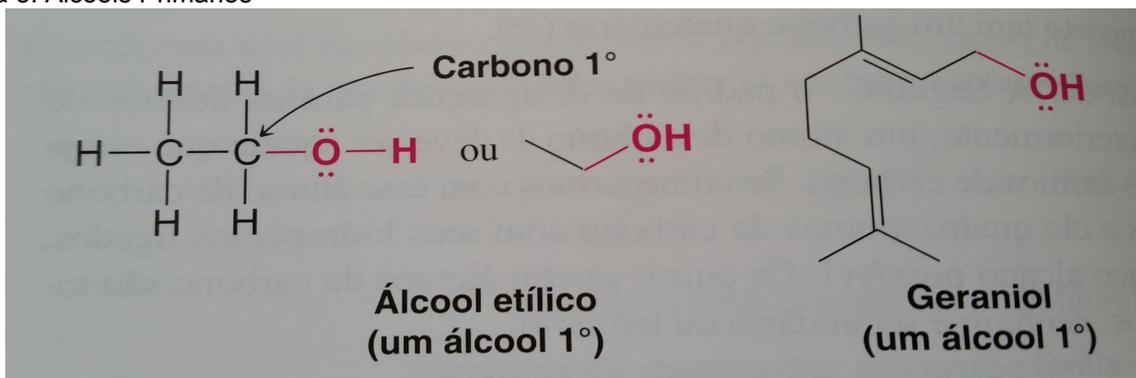
Figura 2: Grupo hidroxila



Fonte: Solomons(2012)

Solomons (2013) classifica os alcoóis de três formas: alcoóis primários; alcoóis secundários e alcoóis terciários. **A classificação se baseia no grau de substituição do carbono no qual o grupo hidroxila está ligado.** Se o carbono possui somente outro carbono ligado a ele, ele é chamado de **carbono primário** e o álcool é também **primário**.

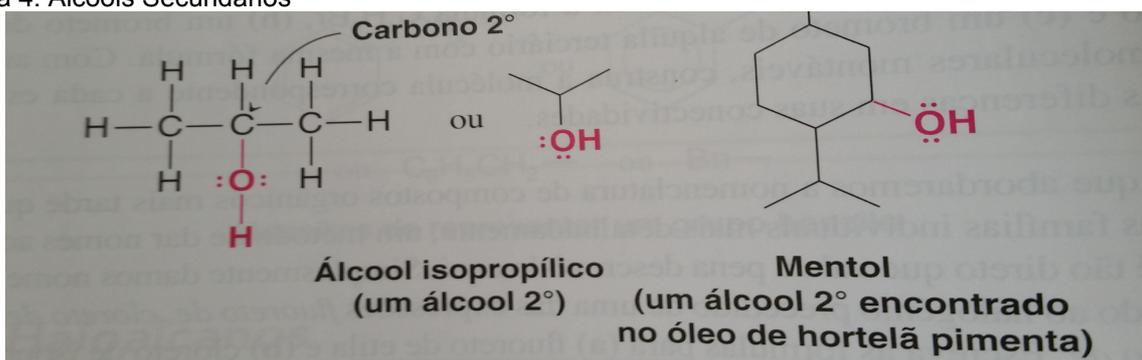
Figura 3: Alcoóis Primários



Fonte: Solomons (2012)

Se o carbono que estiver ligado a hidroxila estiver ligado a outros dois carbonos, então este carbono será **secundário** e o álcool também é **secundário**.

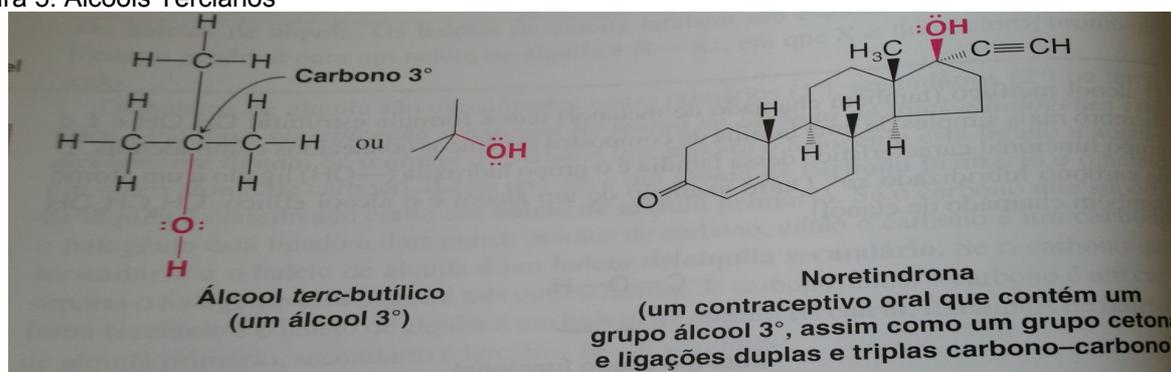
Figura 4: Alcoóis Secundários



Fonte: Solomons (2012)

Finalmente, se o átomo de carbono que está ligado a hidroxila estiver ligado a outros três carbonos, então este carbono será dito **terciário** e o álcool será **terciário**.

Figura 5: Alcoóis Terciários



Fonte: Solomons (2012)

Solomons (2013) explica que os alcoóis possuem pontos de ebulição muito mais elevados que os hidrocarbonetos de peso molecular comparável. Isto deve-se ao fato de serem moléculas **polares** e também, pela presença do grupo hidroxila, conseguirem formar **pontes de hidrogênio** uma ligação molecular muito forte que irá necessitar de considerável energia para ser quebrada.

Os alcoóis de menor peso molecular – metanol, etanol e o álcool *terc*-butílico – são completamente miscíveis em água. O restante deles possui solubilidade cada vez menor, a medida que aumenta a cadeia carbônica ligada à hidroxila.

Capítulo 4: Termodinâmica e termoquímica

Objetivos

Ao final desta lição os alunos devem ser capazes de:

- 1) Descrever, com suas palavras, o que enuncia a Lei Zero da Termodinâmica, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Descrever, com suas palavras, o que enuncia a Primeira Lei da Termodinâmica, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Diferenciar o que é calor específico, calor latente e entalpia, de acordo com o que foi repassado na lição.

4.1 Lei Zero da Termodinâmica

A lei zero da termodinâmica é muito intuitiva, sendo que provavelmente o leitor pudesse deduzi-la sozinho. No entanto, é importante conhecê-la. Ela é enunciada da seguinte forma: “se dois corpos A e B estão separadamente em **equilíbrio térmico** com um terceiro corpo, T, então A e B estão em equilíbrio entre si”.

4.2 Primeira Lei da Termodinâmica

Como vimos nas seções anteriores, a energia interna de um sistema pode ser aumentada adicionando calor ($q > 0$) ao sistema – aquecendo com um maçarico, por exemplo – ou ainda realizando trabalho sobre ele ($w > 0$) – comprimindo-o com um embolo por exemplo. Por outro lado a energia pode diminuir se retirarmos calor ($q < 0$) do sistema ou permitindo que ele possa realizar trabalho sobre a vizinhança ($w > 0$)

Caso nenhum trabalho esteja sendo realizado, então a energia interna será igual ao calor. Matematicamente

$$\Delta U = q$$

Se trabalho é realizado, mas o sistema está isolado termicamente – vale dizer, não absorve nem libera calor – então a energia interna será igual ao trabalho. Matematicamente

$$\Delta U = w$$

Pode-se generalizar então que, quando calor e trabalho estão envolvidos a modelagem matemática terá a forma de

$$\Delta U = q + w$$

Esta relação é conhecida como a primeira lei da termodinâmica. Sobre esta primeira lei é importante ressaltar ainda o que traz Russell (2004, p. 116) em sua obra:

A primeira lei da termodinâmica é uma definição algébrica da lei de conservação de energia e a pedra fundamental da ciência. Ela simplesmente estabelece que, se a energia de um sistema é acrescida por alguma quantidade, então uma quantidade equivalente de calor ou trabalho deve ser fornecida ao sistema. (Em outras palavras, a energia deve vir de algum lugar). Do mesmo modo, se a energia de um sistema diminui, então a perda de energia não é realmente perdida, ela é gasta como calor ou como trabalho. (Em outras palavras, a energia de um sistema deve ir para algum lugar). A primeira lei é perfeitamente geral, visto que nós podemos classificar todas as formas de energia transferida como calor ou trabalho. (Em alguns casos, quando isto não é conveniente, outros termos são adicionados ao lado direito da relação $\Delta U = q + w$ de maneira a incluir explicitamente outras formas de energia). Por enquanto, consideraremos apenas as maneiras como o calor e o trabalho alteram a energia de um sistema.

Novamente, estamos adotando uma abordagem simplificada da primeira lei da termodinâmica, seu estudo aprofundado por químicos, físicos e engenheiros leva em conta uma série de fatores e apesar da aparente simplicidade da equação os cálculos envolvidos são complexos.

4.3 Entalpia

Como discutido no tópico 3.6, caso nenhum trabalho é realizado sobre ou pelo sistema então a variação da energia interna será igual à energia fornecida ou retirada na forma de calor ($\Delta U = q$). Na grande maioria dos incêndios estruturais que são atendidos pelas guarnições de bombeiro são aquelas em que as transferências de calor são à pressão constante. Imaginando a estrutura em chamas como o sistema em que acontece a reação de combustão, é fácil imaginar que – exceto em raros casos – os gases tem facilidade de expandir-se e contrair-se.

A função de estado que permite ao investigador de incêndios obter informações sobre a variação energética à pressão constante chama-se **Entalpia** (H). Esta palavra provém do alemão *enthalten*, “conter”. A equação da entalpia é

$$H = U + PV$$

Na equação acima H, U, P, V representam a entalpia, a energia interna, a pressão e o volume do sistema, respectivamente. Russell (2004) mostra que, juntamente com a primeira lei da termodinâmica, **uma variação na entalpia de um sistema é igual ao calor liberado ou absorvido à pressão constante.**

Suponha que uma determinada mudança ocorra em um sistema à pressão constante e que durante a mudança a energia interna varie ΔU e o volume ΔV . Pela equação da entalpia apresentada acima teríamos que

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

Utilizando a equação da primeira lei da termodinâmica na forma $\Delta U = q + w$, teremos

$$\Delta H = q + w + P\Delta V$$

Agora, utilizando a equação do trabalho de expansão ($w = -P_{\text{ext}}\Delta V$) e substituindo acima, teremos

$$\Delta H = q - P_{\text{ext}}\Delta V + P\Delta V$$

Como o sistema é aberto à atmosfera, a pressão é a mesma que a pressão externa – vale dizer, $P_{\text{ext}} = P$ – fazendo com que os dois últimos termos da equação se cancelem e a equação fique na forma

$$\Delta H = q$$

Quando energia é transferida para um sistema à pressão constante na forma de calor, a entalpia do sistema **umenta**. Quando energia deixa um sistema à pressão constante como calor, a entalpia do sistema **diminui**. Por consequência, nas reações endotérmicas teremos $\Delta H > 0$, enquanto que nas exotérmicas $\Delta H < 0$.

Quadro 1: Resumo Entalpia

Sentido da energia	Nome do Processo	Sinal de H
Sistema ganha energia	Endotérmico	$\Delta H > 0$

Sistema perde energia	Exotérmico	$\Delta H < 0$
-----------------------	------------	----------------

Fonte: Autor

A tabela acima sintetiza as informações passadas nos parágrafos acima.

4.4 Calor Específico

O calor específico é uma grandeza **física** que denota qual é a variação térmica de uma determinada substância ao receber determinada quantidade de calor. Sua unidade no sistema internacional é J/(kg. K) – joule por quilograma e por kelvin). Mas também é comum encontrarmos em cal/(g.°C) – caloria por grama e por grau celsius).

De acordo com Atkins (2004), há dois tipos de calores específicos: aquele a volume constante C_v e aquele sob pressão constante C_p . O calor específico a pressão constante é geralmente ligeiramente maior do que o a volume constante – sendo que esta regra se aplica aos materiais com coeficientes de dilatação volumétrico positivos. Mas qual a explicação para este fato? Devido ao aumento do volume ocasionado pela dilatação térmica, uma parte da energia que seria usada para esquentar o material é “gasta” para realizar o trabalho de expansão, fazendo com que o aumento de temperatura registrado em um sistema à pressão constante é menor que aquele à volume constante. Já no C_v , todo calor recebido é utilizado no aumento da temperatura do sistema, o que faz com que o calor específico a volume constante seja um pouco menor em relação ao C_p .

O calor específico molar a volume constante é definido matematicamente como

$$C_v = q/n\Delta T \text{ ou}$$

$$C_v = \Delta U/n\Delta T$$

A primeira equação pode ser transformada na segunda porque, de acordo com a primeira lei da termodinâmica $\Delta U = q + w$, e como nenhum trabalho é realizado – uma vez que o sistema encontra-se a volume constante – a equação é simplificada para $\Delta U = q$. Para um gás monoatômico ideal a relação pode ser transformada para

$$C_v = 3/2 R = 12,5 \text{ J/mol/K}$$

O R que aparece na equação acima refere-se a constante dos gases ideais e vale **8,31451 J mol⁻¹**.

O calor específico a pressão constante também é definido como

$$C_p = q/n\Delta T$$

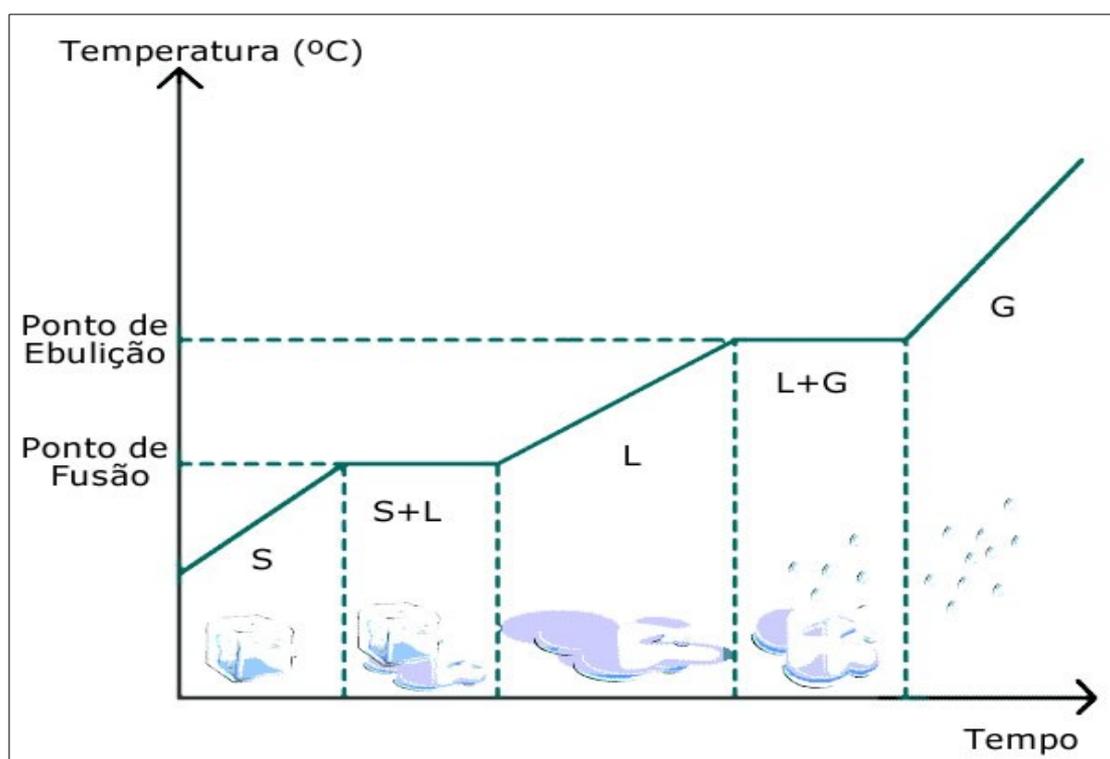
No entanto, aqui o trabalho não será nulo, uma vez que há expansão. Segundo Atkins (2004), como a pressão é constante o trabalho pode ser definido como $W = p\Delta V$. Relacionando esta última equação com a dos gases ideais (que estudaremos em tópico posterior), teremos que $W = nR\Delta T$. Substituindo as equações anteriormente apresentadas mais a equação do calor específico a volume constante na equação $q = U + w$ chega-se, finalmente, a

$$C_p = C_v + R$$

4.5 Calor Latente

Esta propriedade **física** das substâncias está relacionada à quantidade de calor que uma determinada massa de uma substância deve absorver ou liberar para mudar seu estado físico. É importante ressaltar que durante a mudança de fase a temperatura de qualquer substância pura não muda – somente o arranjo molecular, tornando-se mais rígido ou mais maleável. Isso implica que o calor latente pode ser tanto negativo quando positivo. Note a figura abaixo:

Figura 6: Diagrama de mudança de fase de uma substância pura

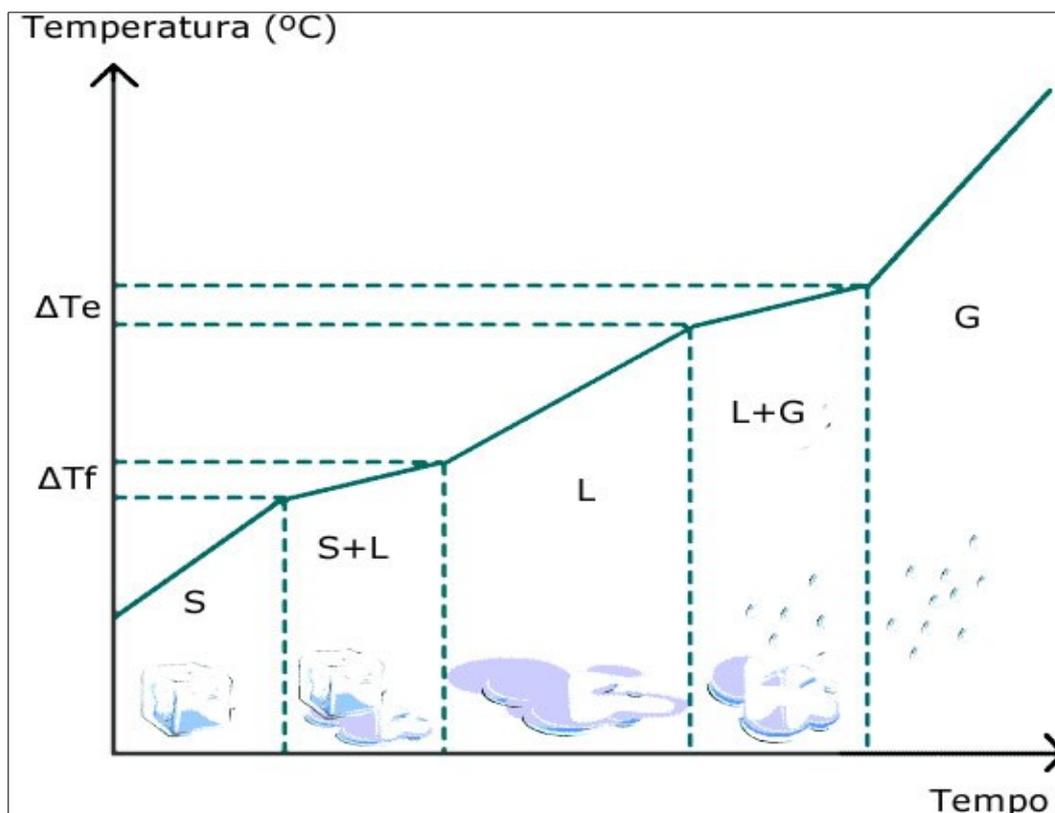


Fonte: Infoescola. . Disponível em:

<<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/10/solidificacao1.jpg>>. Acesso em 24 de agosto 2015

Perceba que durante a mudança de fase as temperaturas permanecem constantes. No entanto, o caso é diferente quando temos uma mistura, como bem mostra a figura abaixo:

Figura 7: Diagrama de mudança de fases de uma mistura



Fonte: Infoescola. Disponível em:

<<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/10/solidificacao2.jpg>>. Acesso em 24 de agosto de 2015

Se o valor do calor latente for positivo, isto indica que a substância está recebendo calor, se for negativo ela estará perdendo calor. No sistema internacional a unidade é J/kg – joule por quilograma. Ainda é possível encontrar comumente a unidade cal/g – caloria por grama. A expressão matemática para o cálculo da quantidade de calor necessária para que uma substância mude de fase é muito simples e é definida como

$$Q = mL$$

Em que Q é a quantidade de calor, m é a massa e L é o calor latente. Tabelas de calor latente podem ser encontradas facilmente em publicações de química e em sites da internet.

Capítulo 5: Noções de cinética química

Objetivos

Ao final desta lição os alunos deverão ser capazes de:

- 1) Definir, com suas palavras, o que é cinética química, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Conceituar, com suas palavras, o que é energia de ativação;
- 3) Citar pelo menos três fatores que alteram a velocidade de uma reação química, de acordo com o que foi repassado na lição.

5.1 Cinética Química: fatores que alteram a velocidade de uma reação química

A parte da química que ocupa-se de estudar o modo e a velocidade com que as reações químicas processam-se é a cinética química. Passemos a estudar um pouco de tópicos que serão úteis ao nosso estudo em investigação de incêndios.

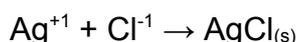
Primeiramente, para que uma reação química ocorra é necessário que os reagentes, sofram colisões fortes o suficiente (e com uma configuração espacial favorável) para que quebrem-se as ligações químicas que mantêm as moléculas originais unidas, permitindo a formação de novas ligações. Estas novas substâncias químicas são os produtos da reação.

Na grande maioria das vezes essas reações não acontecem a temperatura ambiente. É necessário que energia externa seja fornecida para que a “ação” se inicie. Essa quantidade de energia adicionada àquela que a molécula já possui (energia interna) é conhecida como **energia de ativação**.

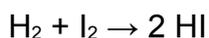
Aragão (2010, p. 92) traz uma explicação bastante clara, a qual reproduzimos abaixo:

A explicação para este fato é que a energia de ativação na forma de calor aumenta a energia cinética média de algumas das moléculas dos reagentes, que, antes de se transformarem nos produtos, passam por um estado intermediário, conhecido por *complexo ativado*. No caso da combustão, a porção que entra em combustão forma o que poderíamos batizar de *germe de combustão ou célula da combustão*.

Agora que já foi feita uma breve introdução sobre o assunto, partiremos para apontar quais são os fatores que afetam a velocidade das reações químicas. Aragão (2010) afirma que o primeiro dos fatores é a **natureza do reagente**. É intuitivo que algumas reações processam-se muito rapidamente e outras não. Isto quer dizer que algumas substâncias são extremamente reativas, enquanto outras “precisam de um empurrãozinho”. Por exemplo a reação de nitrato de prata e cloreto de sódio se dá rapidamente e gera como produto um precipitado de cloreto de prata, conforme a reação



Por outro lado, a reação do hidrogênio com iodo é muito lenta, ainda que aumentemos a temperatura para 425 °C

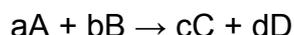


Aragão (2010) explica que isto deve-se ao fato de que a molécula de HI não pode se formar até que as ligações do hidrogênio e do iodo tenham se quebrado, o que requer energia adicional. Só algumas moléculas de H₂ e I₂ terão velocidade suficiente para que colisões efetivas ocorram e haja a formação de novas ligações químicas. Já a reação de precipitação do cloreto de prata é veloz porque não houve necessidade de quebrar as ligações dos reagentes, uma vez que já se encontravam na forma iônica.

O supracitado autor diz que um outro fator que altera a velocidade da reação é a **temperatura dos reagentes**. Mantendo-se constante todos os outros fatores, a velocidade **da grande maioria** das reações químicas aumenta vertiginosamente com o aumento da temperatura. Como já discutido em tópicos anteriores, o aumento da temperatura gera um aumento na energia cinética das moléculas, o que acarretará em colisões com maiores chances de conseguir quebrar as ligações químicas dos reagentes e formar os novos produtos.

Finalmente, Aragão (2010) que se considerar a **concentração dos reagentes**. E o motivo é muito intuitivo. Aumentando-se a concentração dos reagentes, aumenta-se o número de moléculas participando da reação. E da mesma forma com que é mais fácil esbarrar em alguém em uma festa lotada, também é mais fácil para as moléculas colidirem-se se houver mais moléculas para colidir! Este fato é explicado pela lei de Guldberg e Waage, a qual enuncia que, a cada temperatura, a velocidade de uma reação

é diretamente proporcional ao produto de uma constante k pelas concentrações molares dos reagentes, elevadas a potências determinadas experimentalmente. Matematicamente



$$v = k [A]^m \times [B]^n$$

Também é possível alterar a velocidade de uma reação química, alterando-se a área de contato em que esta reação está acontecendo. É muito mais fácil queimar madeira se ela estiver reduzida em serragem ou aparas do que tentar incendiar o tronco inteiro. Aragão (2010) cita a farinha como um outro exemplo: quando está devidamente armazenada em silos, é improvável que aconteça uma combustão; no entanto, quando estendidos sobre alguma superfície, pode reagir rapidamente com o oxigênio atmosférico e queimar facilmente. Quando em suspensão no ar, podem queimar-se tão rapidamente que algumas vezes acontecem explosões.

Aragão (2010, p. 102) agrupa, de acordo com a **velocidade das combustões**, as seguintes categorias:

- a) Alta velocidade: combustões extraordinariamente velozes, repentinas, que ocorrem de forma praticamente instantânea, normalmente envolvendo toda a massa combustível. Ocorre com os gases e vapores dosados com o ar ou com poeiras orgânicas em suspensão no ar;
- b) Vivas: combustões ditas normais ou comuns, acompanhadas de chamas, que ocorrem em incêndios comuns;
- c) Lentas: são combustões incompletas, que ocorrem em ambientes pobres de oxigênio, onde a emissão de luz é mínima ou inexistente.

Uma discussão mais técnica sobre a velocidade das reações nos mostraria que a velocidade na realidade depende da etapa lenta de cada mecanismo de reação, mas este assunto foge ao escopo a que esta apostila se propõe a realizar.

Capítulo 6: Formas de transmissão de calor

Objetivos

Ao final desta lição os alunos deverão ser capazes de:

- 1) Descrever com suas palavras como se dá a transmissão de calor por condução e citar pelo menos um exemplo de como ela acontece em um incêndio;
- 2) Descrever com suas palavras como se dá a transmissão de calor por convecção e citar pelo menos um exemplo de como ela acontece em um incêndio;
- 3) Descrever com suas palavras como se dá a transmissão de calor por radiação e citar pelo menos um exemplo de como ela acontece em um incêndio.

Uma parte importante de todo incêndio é a transferência do calor, tanto para o próprio combustível, quanto para a área na qual ele está queimando. O calor é transferido basicamente de três maneiras: por condução, por convecção e por radiação. Todas as três formas estão presentes em incêndios, no entanto a maior ou menor importância de cada um vai variar com a intensidade e o tipo de incêndio como também a geometria e o conteúdo que está queimando no ambiente. Trataremos cada uma dessas formas individualmente nos próximos tópicos.

6.1 Condução

Segundo Dehaan (2012), a condução é a transferência de calor através dos materiais por meio do contato do movimento vibracional de suas moléculas. Ele é mais comum nos **materiais sólidos** onde o contato molecular é máximo e a convecção não ocorre apreciavelmente. Como já mencionado quando falamos sobre calor, o fluxo da energia calorífica sempre vai das áreas quentes do sólido para as frias por condução.

Aragão (2010) destaca que a transmissão de calor por condução **não deixa vestígios** característicos, dessa forma é o próprio elemento condutor que deverá levar o perito até o fonte inicial de calor no local.

A taxa com a qual calor é transmitido através de um material por condução é medido em **condutividade térmica** (k) e sua unidade é W/m.K. A fórmula para o cálculo da transmissão de calor por condução é modelado pela **Lei de Fourier**.

$$Q = [k.A.(T_2 - T_1)]/l$$

Onde q é a taxa com que o calor está sendo conduzido em kJ/s ou kW, k é condutividade térmica do material, A é a área na qual o calor está sendo conduzido, (T₂ – T₁) é a diferença de temperatura entre a área quente e a área fria e l é o comprimento através do qual o calor está sendo conduzido.

Pela análise da lei de Fourier se percebe que o valor de Q aumenta quando temos uma diferença de temperatura entre a área quente e fria grande, se a área do material é grande ou se o comprimento no qual o calor está sendo conduzido é pequeno.

Dehaan (2012) afirma que a condutividade térmica do material que está sendo aquecido tem um papel fundamental na condução de calor. O valor de k de combustíveis como a madeira, espuma plástica ou papel é muito baixo, o que significa que o calor que é transferido para estes materiais tende a se acumular em um ponto, aumentando a temperatura local, possivelmente até a temperatura de ignição do combustível. Já condutividade térmica em metais é muito grande, o que significa que o calor é rapidamente dissipado por toda a massa do metal, dificultando que a temperatura de ignição do metal seja atingida tão facilmente. Na tabela abaixo mostramos algumas condutividades térmicas

Quadro 2: Condução Térmica de Alguns Materiais

Material	Condutividade Térmica (k)(W/m.K)
Cobre	387
Alumínio	273
Ferro	45,8
Vidro (janelas)	0,76
Tijolo (comum)	0,69
Gesso (gipsita)	0,48
Madeira	0,17
Espuma de Poliuretano	0,034
Algodão	0,06
Ar	0,026
Água	0,60

Fonte: Dehaan (2012)

A próxima tabela utiliza o ferro fundido como um padrão para os outros valores. O valor atribuído para a condutividade térmica do ferro foi de 1.

Quadro 3: Condutividade Térmica de Outros Materiais

Ferro Fundido	1,000
Alumínio	2,337
Aço Doce	0,977
Amianto	0,003
Tijolo	0,007
Concreto	0,012
Vidro	0,016
Cortiça	0,0007
Papel	0,002
Porcelana	0,016
Madeira	0,003
Lã	0,0009
Água	0,01
Ar	0,0003

Fonte: Aragão (2012)

Ambas estão corretas, cabendo ao investigador utilizar a que preferir.

6.2 Convecção

Aragão (2010, p. 139) define a convecção como “[...] a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido por efeito do movimento relativo das suas partículas, movimento esse provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura, e, conseqüentemente, diferença de densidade da massa fluida considerada”.

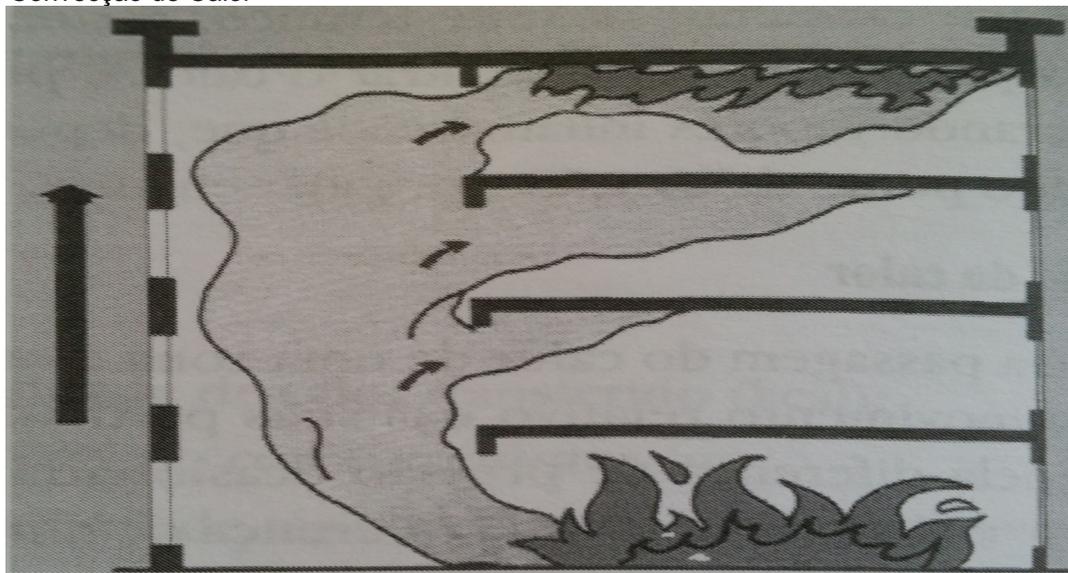
Já Dehaan (2012, p. 46) define convecção como “[...] a distribuição de calor através de um meio circulante ou a transferência de calor para ou de um meio circulante”.

Aragão (2010) divide a convecção em **natural** ou **forçada**, as últimas ocorrendo quando o fenômeno é intensificado mediante agitação artificial.

É importante destacar que a convecção acontece em líquidos, gases e vapores, mas não em sólidos. Em incêndios, é a convecção que leva fumos, fumaça, vapores destilados e gases emanados dos materiais em combustão a níveis mais elevados da edificação ou construção. O autor anteriormente citado as define como **correntes de convecção natural**.

Aragão (2010, p. 139) leciona que “Em consequência da maior temperatura no entorno das chamas, a diferença de densidade induz um escoamento ascendente das massas gasosas emanadas da combustão, devido às forças de empuxo impostas ao fluido quando a sua densidade diminui nas adjacências das chamas”.

Figura 8: Convecção de Calor



Fonte: Aragão (2010)

A equação matemática que faz a modelagem da transmissão de calor por convecção é proporcional ao tempo de aquecimento, à área que se está aquecendo e à diferença de temperatura entre o fluido e a superfície.

$$Q = h.A.t.(T_2 - T_1)$$

Onde Q é o calor transmitido por convecção em kcal ou kJ, h é o coeficiente de convecção em (kcal/m².h.°C) ou em (kJ/m².s.K), A é a superfície aquecida em m², t é o tempo em horas ou segundos e (T₂ – T₁) é a diferença de temperatura entre o fluido e a superfície receptora em °C ou K.

Mais uma vez aproveitaremos uma das lições de Aragão (2010, p. 140) para demonstrar o papel impactante que esta forma de transmissão de calor tem nos incêndios:

[...] os fumos e os gases quentes tendem a subir do lugar da queima, aquecendo as camadas de ar circundantes, que também sobem por serem mais leves do que as camadas superiores mais frias. Ao ascenderem, também transportam fagulhas e partículas incandescentes da área de queima. À medida que esses gases sólidos aquecidos se deslocam, o ar mais frio se move até o fogo. Com isso,

produz correntes que aceleram o processo de convecção, que, por sua vez, vai se acelerando simultaneamente ao aumento da velocidade de combustão.

É por causa das correntes de convecção que é importante que as estruturas tenham uma abertura no teto, caso contrário, é absolutamente previsível que a construção será tão logo tomada pela fumaça e os gases aquecidos.

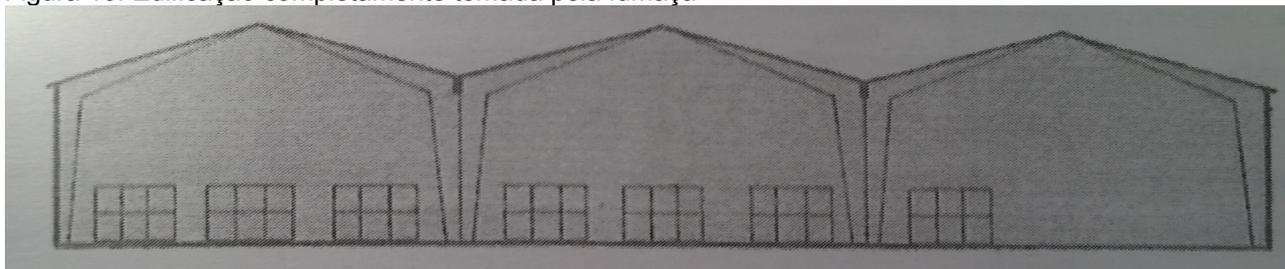
Figura 9: Fumaça se acumulando no teto da edificação



Fonte: Aragão (2010)

Com o passar do tempo, o plano de fumaça e gases no teto, vai começar a baixar em virtude das camadas mais altas já se encontrarem saturadas.

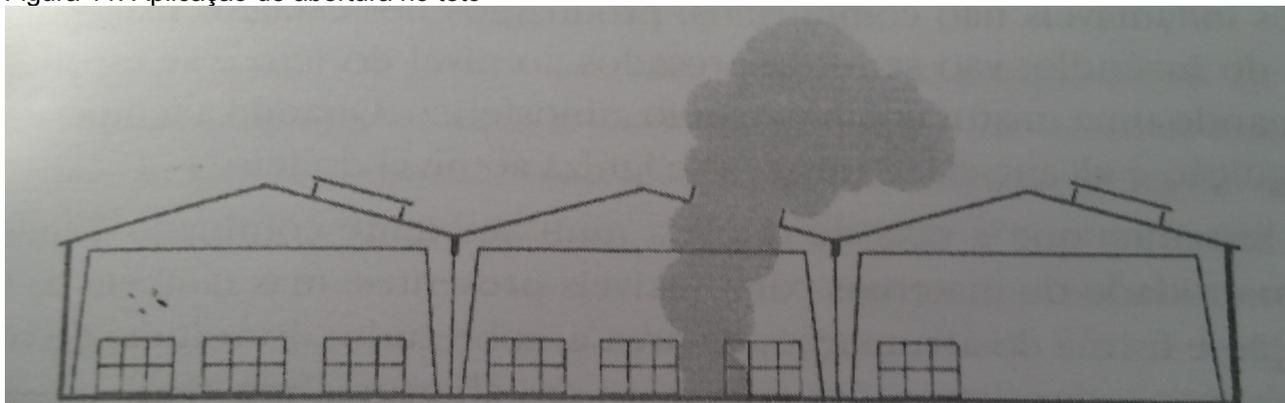
Figura 10: Edificação completamente tomada pela fumaça



Fonte: Aragão (2010)

A utilização de aberturas especialmente projetadas para este fim, sejam chaminés, exaustores ou até a utilização de telas não combustíveis na área do telhado, limitam a ocorrência deste fenômeno, uma vez que dão vazão às massas gasosas e impedem o seu acúmulo no interior das edificações.

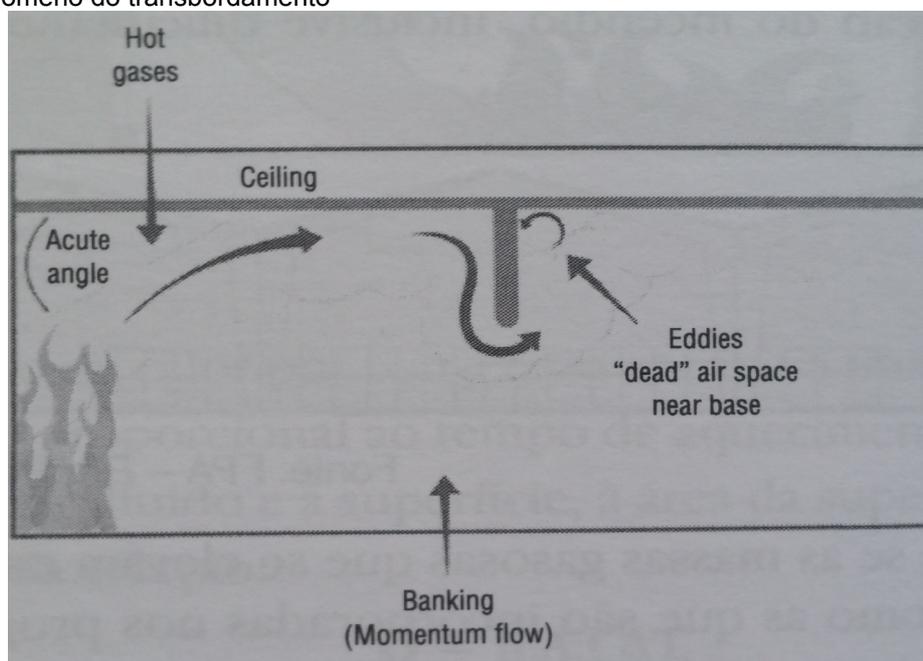
Figura 11: Aplicação de abertura no teto



Fonte: Aragão (2010)

Aragão (2010) ainda expõe que é possível que a movimentação horizontal das massas gasosas quentes seja limitada por vigas ou paredes próximas ao teto, fazendo com que estes gases acumulem-se até chegar a um ponto em que passarão desses obstáculos, fenômeno conhecido como **transbordamento**.

Figura 12: Fenômeno do transbordamento



Fonte: Aragão (2010)

O supracitado autor ainda menciona o fenômeno conhecido como *rollover*. Este acontece quando gases inflamáveis não comburidos acumulam-se ao nível do teto e se espalham, formando uma mistura com o oxigênio disponível no ar atmosférico. Uma vez sendo alcançada a temperatura de ignição, a mistura de gases inflamáveis e oxigênio se ignizará no teto.

Dehaan (2012, p. 47) cita em seu livro o fenômeno conhecido como **firestorm**²⁷. Ele acontece principalmente em incêndios não confinados onde as correntes convectivas são tão fortes que podem sugar combustíveis que estão ao nível do solo para dentro do fogo, e as correntes ascensoras levam estes sólidos e gases flamejantes a vários metros do solo, fazendo com que estes detritos caiam como brasas em outros combustíveis que estão na direção do vento.

²⁷Tempestade de fogo, em inglês

6.3 Radiação

Aragão (2010, p. 143) define radiação térmica como “[...] a radiação eletromagnética que todos os corpos e substâncias sólidas, líquidas ou gasosas emitem desde que suas temperaturas absolutas sejam maiores do que o zero grau Kelvin. A transmissão prescinde da existência de um meio material para a sua propagação”.

Temperaturas baixas somente emitem radiação na faixa do infravermelho. Temperaturas acima dos 500 °C começam a emitir radiação no espectro visível e a cor vai depender da temperatura do corpo, conforme a tabela abaixo

Quadro 4: Cor das chamas de objetos incandescentes

Cor	Temperatura Aproximada (°C)
Vermelho escuro	500 – 600
Vermelho pálido	600 – 800
Vermelho cereja brilhante	800 – 1000
Laranja	1000 – 1200
Amarelo brilhante	1200 – 1400
Branco	1400 - 1600

Fonte: Dehaan (2012)

A radiação infravermelha do sol é a principal fonte de calor da Terra. Desde que se o sol se torna visível nas primeiras horas da manhã, a radiação emitida já pode ser sentida. Dehaan (2012) leciona que este calor pode ser sentido porque é absorvido pelo corpo, e a absorção é maior que irradiação do nosso corpo. Do mesmo modo, quando em um dia de inverno, sentimos frio porque o nosso corpo irradia calor mais rápido do que absorve do ambiente. Em ambientes em que tudo está à mesma temperatura, todos os objetos estão irradiando e absorvendo calor à mesma taxa – logo não há mudança na temperatura.

Se a temperatura estiver sendo medida em K, a intensidade do total de radiação emitida (E) está relacionada a temperatura na quarta potência (T^4), tal como é previsto na relação de Stefan-Boltzmann:

$$E = \epsilon\sigma T^4$$

Onde ϵ é a emissividade da fonte e σ é a constante de Stefan-Boltzmann – cujo valor é de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Pela equação podemos perceber que mesmo um ligeiro aumento na temperatura da superfície, por exemplo, dobrando a temperatura de um compartimento de 300 K para 600 K, teremos um incremento da intensidade da radiação calorífica emitida por um fator de 16 ($2^4 = 16$). Os efeitos do calor radiante irão depender da intensidade e da duração. A tabela abaixo fornece alguns exemplos

Quadro 5: Efeitos da radiação termal em sólidos

Fonte	Fluxo de calor radiante (kW/m²)	Temperatura de equilíbrio da superfície	Efeito observado
Sol de verão	1	40 °C	Nenhum
Lareira a distância	2 - 4	45 °C	Dor após 30 segundos
Lareira próxima	4 - 6	54 °C	Dor após 8 – 10 segundos; queimaduras de segundo grau após 20 – 30 segundos
Lareira muito próxima	10	100 °C – 150 °C	Abrasamento de alguns materiais; derretimento de alguns termoplástico
Com o rosto próximo ao fogo da lareira	20	150 – 250 °C	Alguns materiais celulósicos e sintéticos entram em ignição em menos de 60 segundos
Dentro da lareira	30	300 – 400 °C	Autoignição da maioria dos combustíveis em 0 – 30 segundos (madeira em mais de 60 segundos)
Adjacente às chamas	50	400 °C	Autoignição de quase todos os materiais em menos de 5 segundos
Pós Flashover	120 - 150	Maior que 500 °C	Combustão Rápida

Fonte: Dehaan (2012)

Segundo Dehaan (2012, p. 48) a tabela acima é muito útil na estimativa da intensidade de calor em superfícies expostas após um incêndio como um auxílio na reconstrução das posições das fontes de calor e de superfícies “alvo” (que recebem o calor).

A radiação de calor é também um dos maiores fatores que fazem com que o combate a incêndio seja difícil, pois a aproximação de um grande incêndio aquece equipamentos e bombeiros, fazendo com que muitas operações sejam difíceis senão impossíveis de se desenvolver com segurança.

Figura 13: Prédio adjacente e veículo entram em ignição pela radiação térmica



Fonte: Dehaan (2012)

Em grandes focos de incêndio, não é incomum que prédios adjacentes ou veículos próximos se incendeiem somente pela radiação emanada do fogo, conforme a imagem acima.

Capítulo 7: Propagação do fogo através dos elementos da construção

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Definir, com suas palavras, o que é reação ao fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Definir, com suas palavras, o que é resistência ao fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Citar pelo menos três estigmas da velocidade do fogo em uma cena de incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 4) Citar pelo menos três estigmas da movimentação do fogo em uma cena de incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição.

O propósito deste breve capítulo não é nos estendermos em demasia sobre as propriedades dos diversos tipos de materiais usados pelo ramo da construção quando sob a ação do fogo. Mas sim trazer alguns conceitos básicos que irão auxiliar o investigador de incêndio no que diz respeito à Ciência do Fogo.

De acordo com a doutrina apregoada por Aragão (2010), o fogo e sua relação com as edificações deve ser analisado principalmente sob dois aspectos: Reação ao fogo; e Resistência ao fogo.

Aragão (2010, p. 150) conceitua que: “*reação ao fogo* é definida pelos mecanismos de alimentação e de propagação do fogo, dando lugar a calor, chamas, gases, fumaças e cinzas. Por alimentação, entende-se o conjunto de fatores que influenciam diretamente a evolução do fogo”. Já *resistência ao fogo* é

[...] a propriedade temporal que um elemento componente ou material apresenta em conservar o desempenho das funções para as quais foi concebido, mantendo a sua estabilidade (elementos estruturais) ou integridade (elementos não estruturais), não permitindo, no caso de elementos separadores de ambiente, a passagem de gases quentes ou chamas e a acentuada elevação da temperatura no lado não exposto ao fogo.

Os materiais também podem ser definidos como *retardantes, resistentes e altamente resistentes*²⁸. Os primeiros são os que **resistem às chamas por certo tempo**.

Quando exposta ao fogo por 30 minutos, a parede oposta às chamas não pode ter uma temperatura superior à 130 °C. Após os mesmos 30 minutos, a temperatura na face opostas às chamas – a temperatura na parede do vizinho do apartamento incendiado, por exemplo – não pode ultrapassar 250 °C, **tudo isso conservando suas características**.

Os materiais resistentes são aqueles que, quando expostos ao fogo por 90 minutos, não tem a temperatura ultrapassada de 130 °C na parede oposta às chamas e que na face oposta às chamas não ultrapassa 250 °C, **sem se deformar ou perder sua solidez**.

Segundo Aragão (2010, p. 151), materiais altamente resistentes “[...] são materiais que se mantêm incólumes durante três horas de exposição contínua ao fogo”.

O autor continua dizendo que, durante o processo de combustão, todos os materiais, objetos, equipamentos e estruturas que tem contato com as chamas passam por um processo de transformação - parcial ou total – e destruição. No entanto, essas modificações acontecem de maneira **desigual**, resultando em diferentes níveis de degradação pelo caminho que o fogo tomou, fato este que deve ser aproveitado pelo investigador para determinar a origem do fogo. Aragão (2010, p. 159) relata que

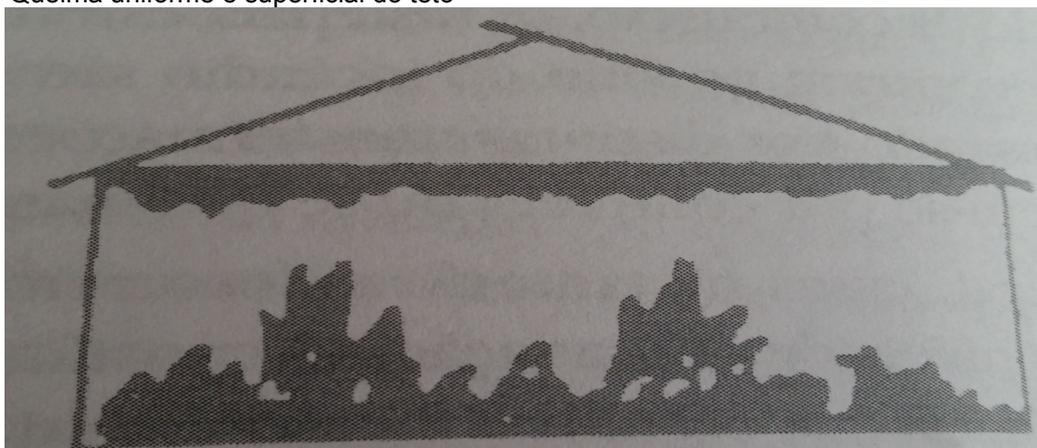
As posições e as formas da combustão são analisadas, observando-se que, em regra, quando a propagação do fogo foi natural, a intensidade da combustão vai diminuindo à medida que nos afastamos do foco do incêndio, a menos que a presença de materiais de mais fácil combustão, influenciados ou não por outros fatores técnicos favoráveis, contrariem a regra.

Nos incêndios de combustão incompleta – também conhecidos como aplásicos – onde é possível perceber distintos efeitos destrutivo das chamas, **deve-se sempre ter em mente a velocidade e a movimentação do fogo**. Segundo Aragão (2010, p. 160) velocidade do incêndio é “[...] a magnitude do vetor velocidade expressa numa unidade de distância por unidade de tempo e reflete o tempo que o fogo levou para se deslocar de um ponto para outro”. Aragão (2010) afirma que existem alguns sinais característicos que podem ser encontrados, os quais iremos abordar abaixo.

a) A queima **uniforme e superficial** no teto indica uma queima **lenta**. A combustão total ou arreamento completo e uniforme da estrutura de uma cobertura metálica podem representar dados bastante importantes para o investigador da cena;

²⁸Classificação pelas normas alemãs (DIN), trazidas por Aragão (2010)

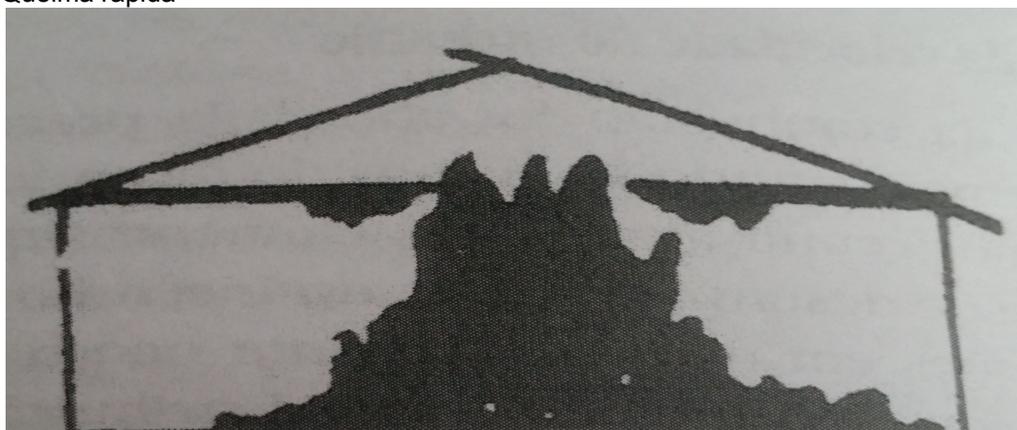
Figura 14: Queima uniforme e superficial do teto



Fonte: Aragão (2010)

b) De modo contrário ao item (a), a queima **rápida** fará um estrago **pontual**, concentrado em uma área mais restrita, **localizada logo acima da fonte principal de calor**. Também pode ser indicativo da queima rápida o **vingamento da madeira** de uma cobertura, ainda que de metal, e no qual **todo o telhado tenha sido parcialmente destruído**. Para se ter certeza, deve-se comparar uma viga de madeira comburida com uma que não o foi ou uma viga metálica que sofreu uma dilatação permanente mais pronunciada em relação às outras.

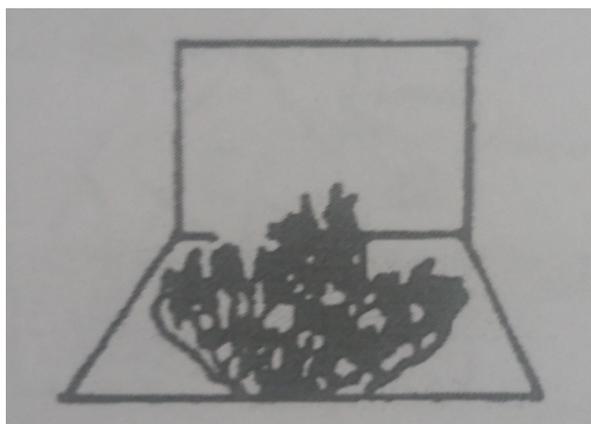
Figura 15: Queima rápida



Fonte: Aragão (2010)

c) Queimas amplas (*wide spreading*) num assoalho, desde que não haja emprego de agentes acelerantes, correspondem a uma queima **lenta**.

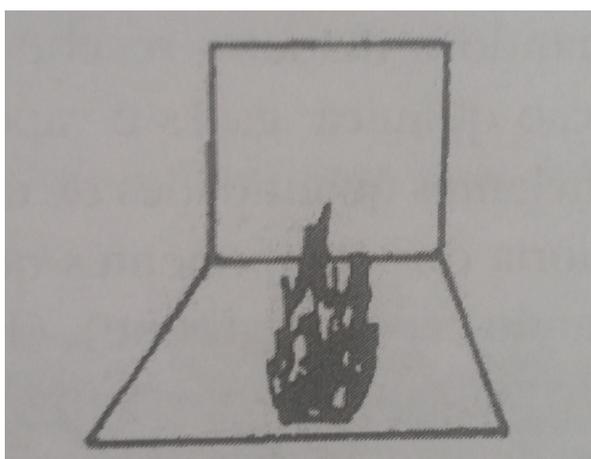
Figura 16: Wide Spreading



Fonte: Aragão(2010)

d) De modo inverso, quanto mais rápida for a queima – com conseqüente fluxo de calor elevado – mais estreita será a área de espalhamento da chama (*narrow spreading*)

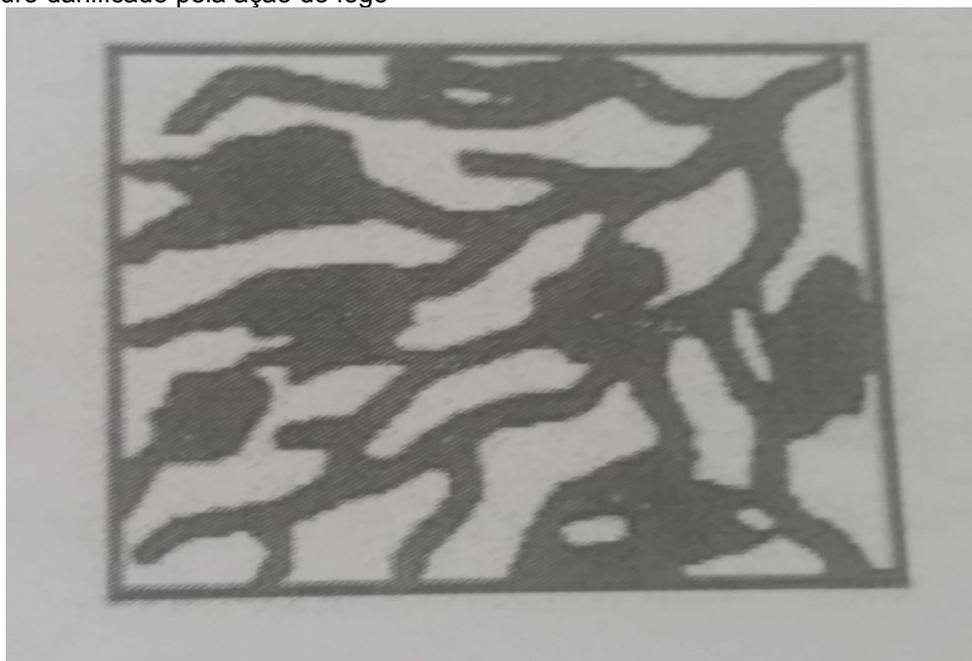
Figura 17: Narrow Spreading



Fonte: Aragão(2010)

e) A morfologia das rupturas, esfumaçamento e estilhaçamento de painéis de vidros estão ligados à velocidade de desenvolvimento do incêndio. Aragão (2010, p. 161) aponta que “[...] uma diferença de temperatura de 60°C entre a superfície exposta ao fogo e a contrária é suficiente para causar a rotura dos vidros e vidraças”. Assim, o estilhaçamento ou fragmentação dos vidros pode representar um aquecimento muito rápido de uma das superfícies do painel. Caso o estilhaçamento tenha sido nas fases **iniciais** do incêndio, então os estilhaços estarão limpos, ou seja, livres de impregnações fuliginosas ou condensados e apontam para o **aquecimento rápido**. Ainda, o **intenso esfumaçamento** e **grandes rachaduras** em vidros de janelas indicam a possibilidade de queima rápida.

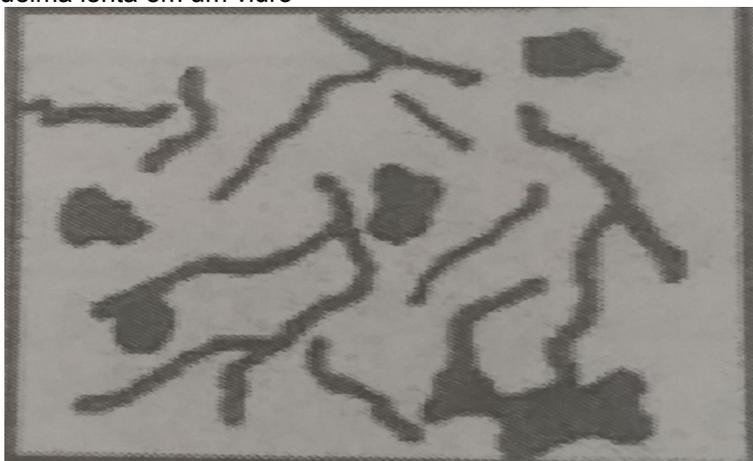
Figura 18: Vidro danificado pela ação do fogo



Fonte: Aragão(2010)

e) Esfumaçamento reduzido em pequenas rachaduras em vidraças indicam uma queima lenta

Figura 19: Sinais de queima lenta em um vidro



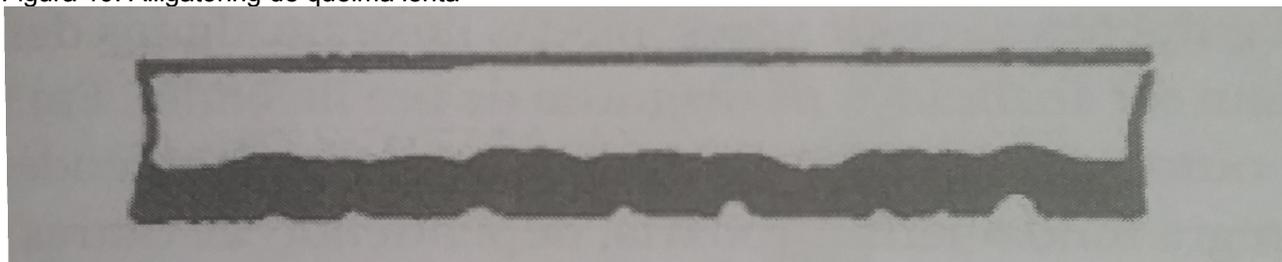
Fonte: Aragão(2010)

f) Os resíduos gerados pela queima da madeira e dos produtos dela derivados fornecem informações valiosas na investigação de um sinistro. Será explicado em capítulo posterior, mas quando a madeira recebe uma determinada quantidade de calor, ocorre uma transformação química, na qual gases e vapores são destilados e se desprendem da madeira. Se a quantidade de calor aplicada a massa de madeira for suficiente, só restará carbono – os outros componentes foram destruídos pelas chamas. A pirólise é o processo

pelo qual o calor decompõe quimicamente a madeira. Ela pode ser rápida – indicando a presença de um acelerador – ou lenta, devido ao baixo calor aplicado.

Aragão (2010) leciona que com a queima da madeira, há o desprendimento da umidade nela contida, fazendo com que a massa resultante contraia-se, assumindo um aspecto que lembra a pele de um jacaré – sendo por isso conhecida como *alligatoring*. Incêndios lentos produzem um efeito *alligatoring* **plano, opaco e mais uniforme**.

Figura 19: Alligatoring de queima lenta



Fonte: Aragão(2010)

Já na queima rápida, o *alligatoring* será irregular, profundo e geralmente com superfície brilhante. É indicado que o investigador examine por variações no *alligatoring* e pontos brilhantes dentro de uma área escura de queima: estes são todos indícios da presença de acelerantes.

Figura 20: Alligatoring com presença de acelerantes



Fonte: Aragão (2010)

Terminada a discussão acerca dos traços característicos na estrutura relativos a velocidade do fogo, vamos discorrer um pouco sobre os estigmas em relação a movimentação do fogo.

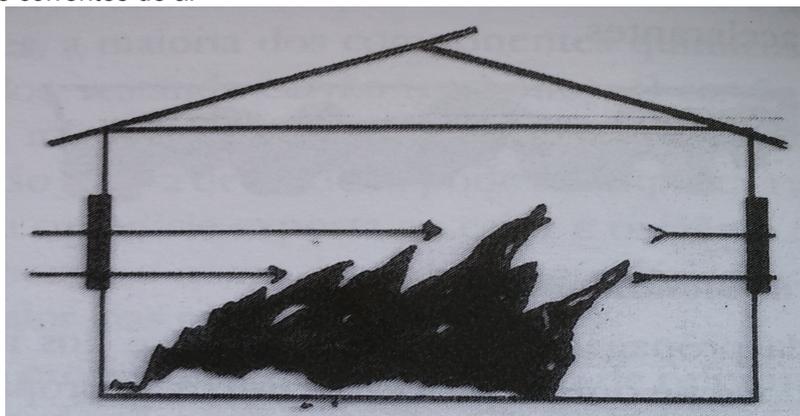
Aragão (2010, p. 163) define *movimentação do fogo* como “[...] a sua mudança de posição no espaço”. Conforme já é de conhecimento do leitor, a tendência natural do fogo é **subir**. Então é de se esperar que, desde que não hajam ventos fortes, as chamas irão se movimentar na vertical, desde que haja material combustível para se ignizar ou que fluxo ascendente de calor ainda não tenha sido resfriado o suficiente que o faça descer.

Segundo Aragão (2010), a propagação **horizontal** do fogo é lenta e difícil; e a propagação para baixo do fogo só acontece em alguns casos excepcionais – como na

presença de acelerantes na superfície que está a queimar. A partir de agora, tal qual fizemos no quesito velocidade do fogo, iremos apresentar algumas características da movimentação do fogo trazidas na obra do autor.

g) As correntes de ar irão desviar **lateralmente** a direção das chamas, tendo como efeito secundário a aceleração da velocidade de propagação

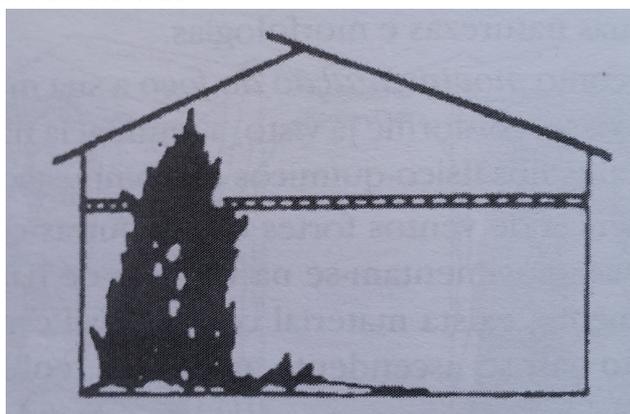
Figura 21: Efeito das correntes de ar



Fonte: Aragão(2010)

h) Não havendo correntes de ar, o fogo segue a regra geral e **queima na direção vertical no sentido de baixo para cima**

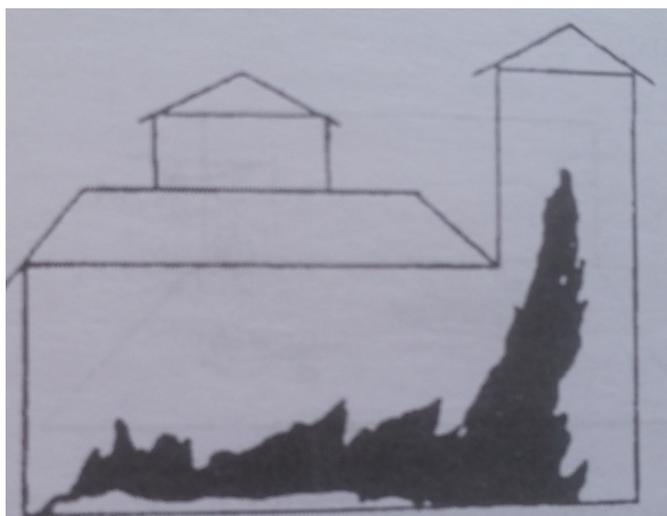
Figura 22: Queima padrão em um incêndio



Fonte: Aragão(2010)

i) Na presença de espaços verticais reduzidos, como poços de elevador e escadas, pode acontecer o efeito chaminé e produzir a subida das chamas e das fumaças que podem conduzir o calor por convecção

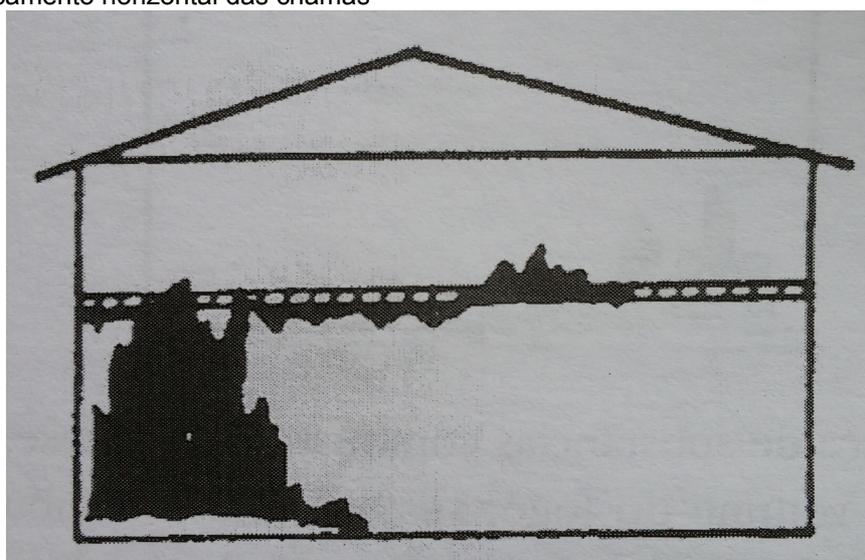
Figura 23: Efeito chaminé



Fonte: Aragão(2010)

j) Caso as chamas encontrem obstáculos horizontais, elas tenderão a se deslocar lateralmente, com a intensidade da carbonização diminuindo no sentido da propagação

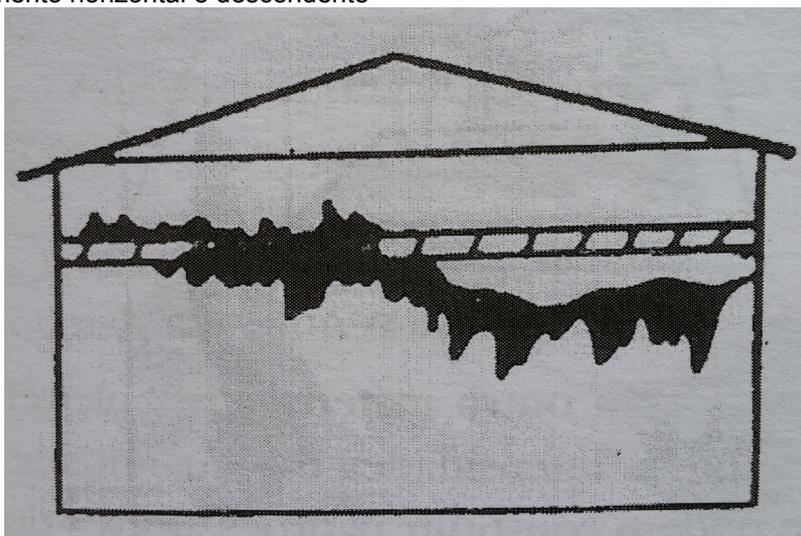
Figura 24: Deslocamento horizontal das chamas



Fonte: Aragão(2010)

k) A propagação lateral, bem como a para baixo, são influenciadas pela composição dos combustíveis que estão no caminho do fogo, sendo favorecidas pela presença de tintas e aglomerantes inflamáveis. No entanto, é necessário que se suspeite da utilização de acelerantes.

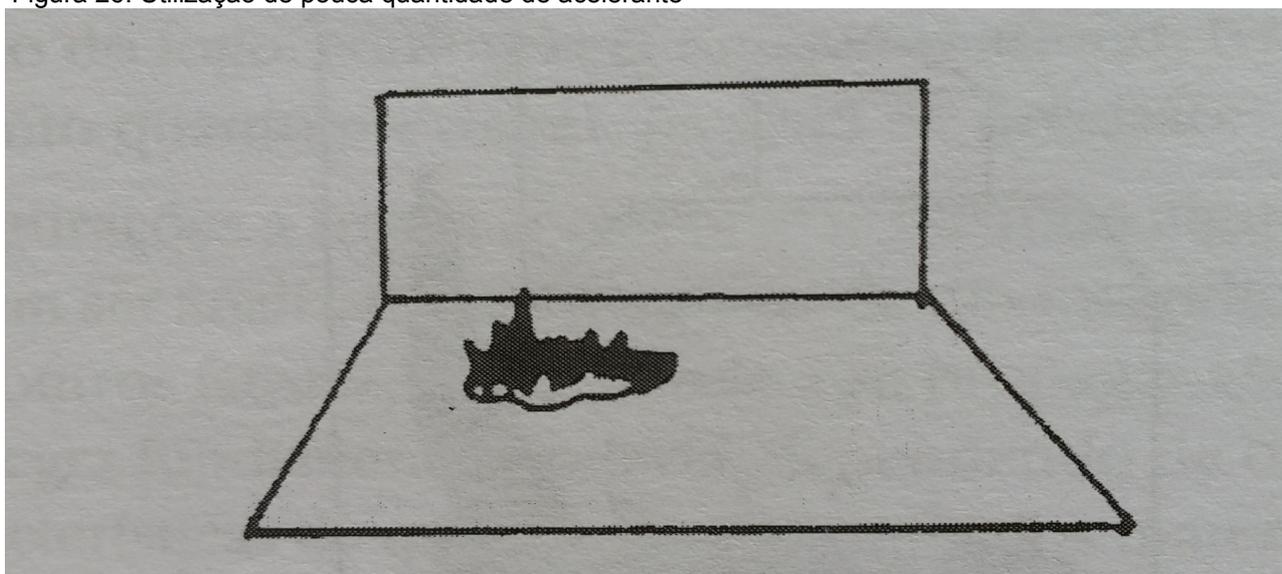
Figura 25: Deslocamento horizontal e descendente



Fonte: Aragão(2010)

l) Quantidades pequenas de acelerantes geralmente confinarão a própria queima à área onde havia o combustível, deixando o resto da cena incólume

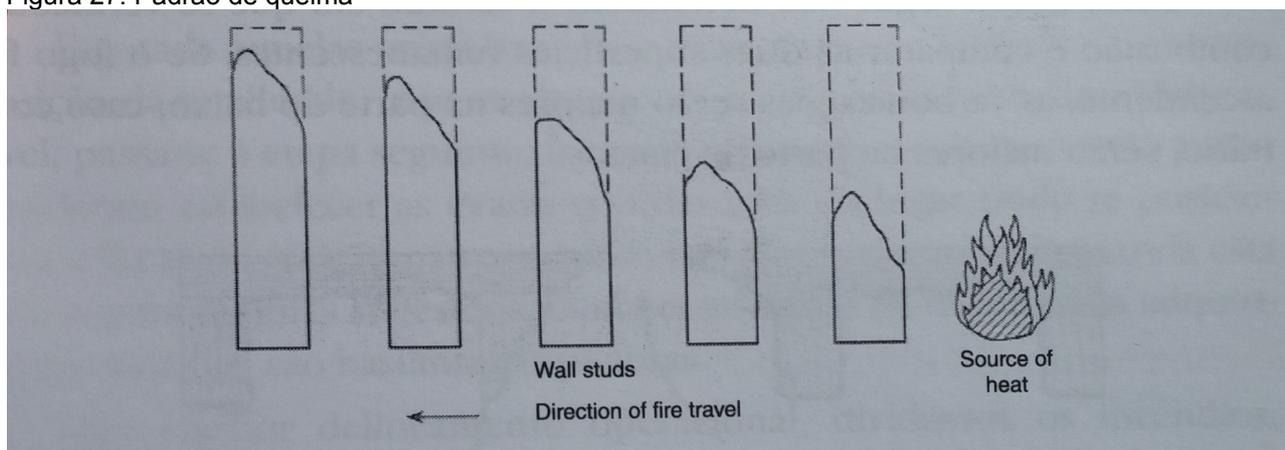
Figura 26: Utilização de pouca quantidade de acelerante



Fonte: Aragão (2010)

m) Quando madeira ou outro combustível queima, ele irá perder massa. Os padrões deixados nesta perda de massa dão indicativos valiosos para o investigador atento, no sentido de deduzir a posição relativa da fonte de calor que produziu a queima. No exemplo apresentado abaixo, pode-se perceber claramente que a altura dos painéis aumenta da direita para a esquerda, indicando que a fonte de calor deve ter estado à direita, próximo do painel mais atingido. Como “prova real”, perceber-se-ia que as superfícies laterais de queima nos painéis mais à direita são maiores que os à esquerda.

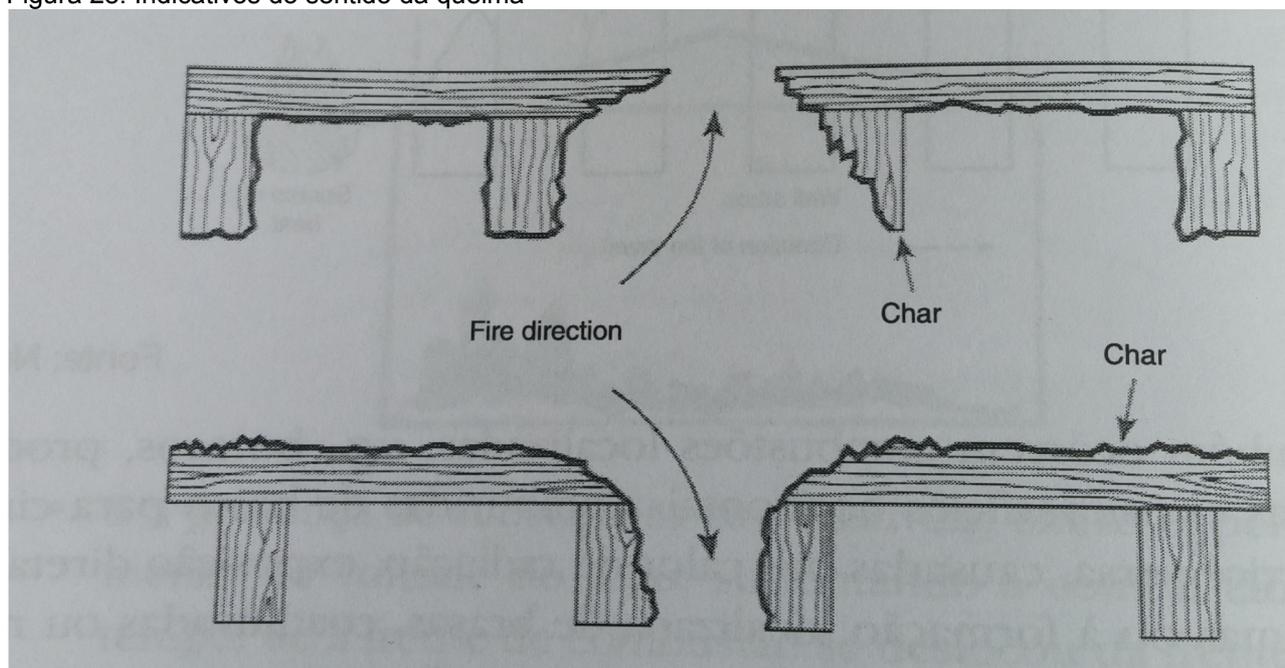
Figura 27: Padrão de queima



Fonte: Aragão (2010)

n) Um modo de determinar o sentido da queima é comparar as duas superfícies remanescentes. Se o fogo se processou de baixo para cima, os sinais de carbonização serão maiores na parte de baixo; caso tenha se processado de cima para baixo, os sinais de carbonização serão maiores na parte de cima

Figura 28: Indicativos do sentido da queima



Fonte: Aragão (2010)

Para finalizar este capítulo, cabe tratar brevemente sobre a NBR 9442 que trata da determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. A norma inicia trazendo alguns conceitos necessários como o que é o índice de propagação de chama, o que é o fator de evolução do calor, etc. Em seguida faz a especificação do equipamento que é utilizado no ensaio em todos os seus componentes.

Em seguida, são descritos procedimentos para a preparação dos corpos-de-prova, os quais devem seguir passos específicos a depender do seu tipo. Não iremos reproduzir aqui estes passos, pois são muito extensos. Após os procedimentos de preparação, os corpos devem ser mantidos em uma estufa com ventilação forçada a (60 ± 3) °C por 24 horas e a seguir condicionados até o equilíbrio em câmara climatizada com temperatura de (23 ± 3) °C e umidade relativa de $(50 \pm 5)\%$.

Feitas todos os procedimentos iniciais descritos no item referente à preparação da aparelhagem deve-se colocar o suporte com o corpo-de-prova sobre o seu apoio no aparelho e deslocá-lo, de modo a que fique em frente ao painel radiante. Inicia-se a contagem do tempo simultaneamente. **O tempo decorrido entre retirar o corpo-de-prova da câmara de condicionamento e o início do ensaio não pode ser superior a cinco minutos e, durante este intervalo, o corpo deverá estar em um invólucro impermeável.**

O responsável pelo ensaio deverá anotar o tempo em que a frente da chama passa pelas marcas feitas a cada 76 mm no suporte ou linhas correspondentes no próprio corpo-de-prova. Deverá também tomar nota de qualquer fenômeno que venha a acontecer durante o processo – como fusão, gotejamento, fumaça, etc.

O ensaio termina após 15 minutos ou ao quando a chama percorrer toda a extensão do corpo-de-prova, caso este tempo seja menor que 15 minutos. Deverá ser anotada a temperatura máxima alcançada na chaminé. Após esta fase deverão ser efetuados os cálculos descritos na norma que indicarão qual é a classe do material em relação ao índice de propagação de chama, conforme a tabela abaixo

Quadro 6: Classificação pelo índice de propagação da chama

Classe	Índice de propagação superficial da chama
A	0 – 25
B	26 – 75
C	76 – 150
D	151 – 400
E	Acima de 400

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986)

Capítulo 8 – Classes de Incêndio

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Diferenciar, com suas palavras, as cinco classes de incêndio, de acordo com a doutrina do CBMSC e com o que foi repassado em aula;
- 2) Citar uma forma de extinguir cada uma das classes de incêndio, de acordo com o que foi repassado em aula.

Segundo Oliveira (2005), é possível dividir os incêndios em cinco classes, as quais indicam qual será o melhor agente extintor a ser utilizado em cada caso. A classificação adotada pelo CBMSC em seus cursos de combate a incêndio é a mesma utilizada pela *National Fire Protection Association* (NFPA), pela *International Fire Service Training Association*²⁹ (IFSTA) e também pelos outros corpos de bombeiros militares brasileiros. Os incêndios podem ser então das classes A, B, C, D e K.

No entanto, em nossa doutrina pericial, a classe K é abrangida pelo classe B, conforme explicaremos mais a frente.

8.1 Incêndios Classe A

De acordo com Oliveira (2005), esta classe apresenta os materiais combustíveis sólidos comuns, tais como papel, madeira, plástico e borracha. Uma característica deste tipo de incêndio é que ele deixa resíduos (cinzas), em razão de ele queimar em superfície e em profundidade. O método mais indicado para extinguir um incêndio classe A é por meio do resfriamento – geralmente com água – mas também é possível valer-se de pós químicos secos ou mesmo do Líquido Gerador de Espuma (LGE).

²⁹Associação Internacional para o Treinamento de Bombeiros

Figura 28: Incêndios classe A



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

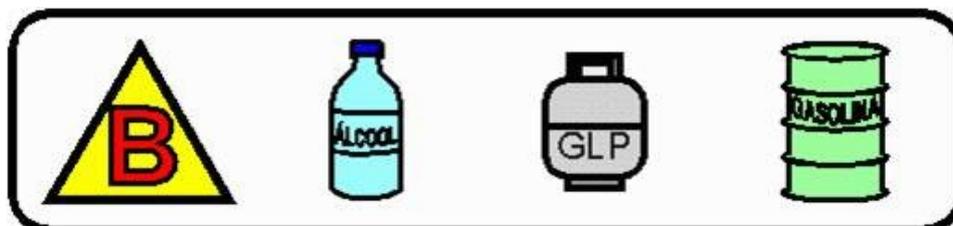
Recentemente os extintores de incêndio veiculares tiveram que ser substituídos para que tivessem poder de extinguir os incêndios classe A.

8.2 Incêndios Classe B

Estes são os incêndios que envolvem líquidos inflamáveis tais como a gasolina, álcool, querosene, hexano, etc. Oliveira (2005) afirma que ao contrário dos incêndios classe A, os líquidos inflamáveis quando queimam não deixam resíduos. Além disso não queimam em profundidade, somente em superfície. O melhor meio para extinguir um incêndio classe B é por meio do abafamento (uso de LGE), por quebra da reação em cadeia (também conhecido como “abafamento químico”).

Dentro da doutrina, ainda existe o dito incêndio Classe K – que é aquele em óleos, gorduras de cozinha e piche derretido. Alguns conferem uma classe específica para essas substâncias por elas terem condições peculiares de combate, destacando-se a proibição de utilização de jato de água direto, pelo perigo de ocorrer o fenômeno do *boilover*. Esta distinção não será feita neste material didático. **Ou seja, para os propósitos do nosso curso, o incêndio classe K está englobado pelo classe B.**

Figura 29: Incêndio Classe B



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/b.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

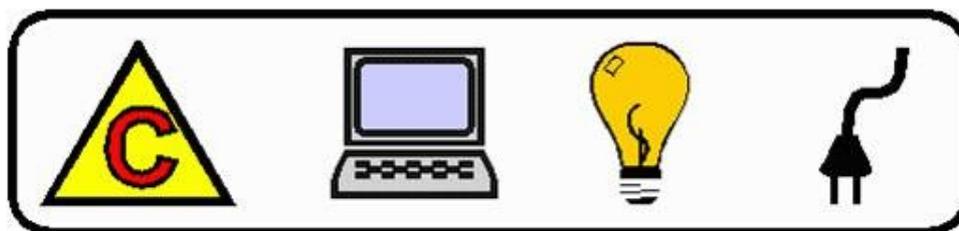
Os incêndios classe B tem potencial enorme de causar danos ao patrimônio e às pessoas. Diversas vezes os noticiários já divulgaram casos envolvendo acidentes com

álcool e crianças. Este foi um dos motivos que induziu a drástica diminuição da disponibilidade de álcool líquido nos supermercados, sendo este substituído pelo álcool gel.

8.3 Incêndio Classe C

São os incêndios que envolvem equipamentos elétricos energizados. O risco, nesta classe, não reside somente no perigo do fogo em si, mas também na energia elétrica dos aparelhos energizados, podendo vir a ferir ou matar bombeiros pelo contato direto ou pela condução elétrica na água usada no combate. Deve-se combater este tipo de incêndio com agentes não condutores de eletricidade, tais como os pós químicos e o dióxido de carbono.

Figura 30: Incêndio Classe C



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/a.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Caso a fonte de energia consiga ser localizada e eliminada, o incêndio classe C pode ser considerado um Classe A.

8.4 Incêndio Classe D

São aqueles que envolvem incêndio em metais combustíveis pirofóricos. Metais pirofóricos são aqueles que reagem violentamente na presença de água ou umidade tais como o magnésio, selênio, antimônio e sódio. Suas chamas atingem altas temperaturas e por suas propriedades químicas reagem de maneira indesejada com a água. A melhor maneira de extinguir um incêndio Classe D é por meio do uso de pós químicos especiais que agem na quebra da reação em cadeia.

Figura 31: Incêndio Classe D



Fonte: Site Segurança de Bens e Pessoas. Disponível em: <<http://inseguranca.no.sapo.pt/d.gif>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Figura 32: Sódio reagindo com a água



Fonte: Imagem retirada da internet. Disponível em: <https://c2.staticflickr.com/2/1274/591321214_b2daeffa33_m.jpg>. Acesso em 28 de julho de 2015.

Na Figura 13 se vê o que ocorre quando se coloca uma pequena massa de sódio metálico em um pouco de água. A reação é violentíssima e libera grande quantidade de calor. Este é o motivo pelo qual estes elementos devem ser conservados dentro de substâncias sem oxigênio, como o queroneze.

Capítulo 9 – Tetraedro do Fogo

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Citar quais são os componentes do tetraedro do fogo, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Explicar com suas palavras, o que é a reação em cadeia, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Explicar com suas palavras a influência que o local em que está o foco de incêndio em relação ao tamanho das chamas, de acordo com o que foi repassado na lição.

Para que uma reação de combustão aconteça e mantenha-se é necessário a presença de quatro elementos essenciais: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. Estes quatro elementos são conhecidos como o tetraedro do fogo. De acordo com Aragão (2010), até pouco tempo atrás a reação em cadeia não fazia parte dos elementos essenciais, e a analogia feita era a do triângulo do fogo.

Sarte (2009, p. 38) diz que além dos componentes do tetraedro do fogo, uma condição favorável se faz necessária para que a combustão ocorra, já que a proporção de combustível e comburente é de importância ímpar na reação. A mistura inflamável poderá ser pobre, ideal ou rica. A mistura rica é aquela em que há muito combustível e pouco comburente. Já a mistura pobre é aquela em que se tem pouco combustível e muito comburente. Uma figura trazida pelo autor em seu trabalho é muito didática, sendo por isso reproduzida nesta pesquisa.

Figura 33: Queima de GLP



Fonte: Sarte (2009)

Perceba que não há chamas na zona de mistura rica nem na mistura pobre.

9.1 Combustível

O combustível é a substância que se oxida, ou seja, que perde elétrons no processo de combustão. Aragão (2010, p. 79) diz que para efeitos práticos de estudo de incêndio, combustível é “[...] toda e qualquer matéria, sólida, líquida ou gasosa que queima [...]”. Do ponto de vista da ciência, combustível é quaisquer substâncias que reajam quimicamente com o oxigênio (ou outro comburente) com desprendimento de fogo (calor e luminosidade)”.

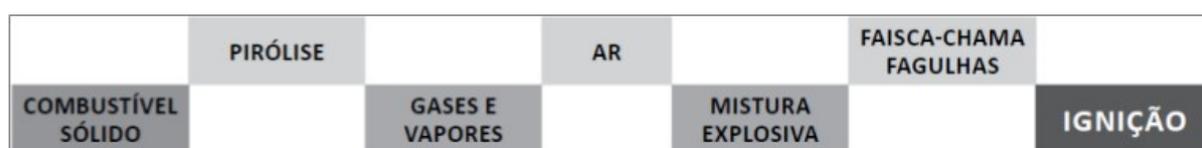
Tecnicamente quase todas as matérias podem ser combustíveis a determinada temperatura, porém, na prática, os incêndios geralmente atendidos pelos corpos de bombeiros não ultrapassarão um dado limite de temperatura. Por esse motivo, o CBMSC – de acordo com seu material didático referente a Combate a Incêndio Estrutural - arbitra que a fronteira entre os materiais combustíveis e os não combustíveis é de 1000 °C. Os materiais que entram em combustão temperaturas menores que 1000 °C são

combustíveis, enquanto os que só entram em processo de combustão acima desta temperatura são não combustíveis.

a) Combustíveis Sólidos

É comum pensarmos, ao ver um pedaço de lenha queimando, que é a própria madeira que está queimando, mas isto não é necessariamente verdade. Para que o pedaço de madeira possa pegar fogo é necessário que a energia térmica na forma de calor interaja com o combustível, fazendo com que a superfície entre em decomposição térmica e libere vapores – este processo é conhecido como pirólise. Estes vapores então, irão se misturar com o oxigênio atmosférico para formar a mistura inflamável, a qual poderá inflamar-se pela presença de uma fonte de ignição.

Figura 34: Combustível sólido



Fonte: Seito (2008)

A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível sólido entre em ignição.

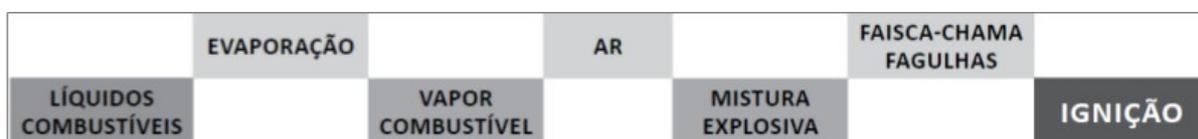
Outra propriedade dos combustíveis sólidos é a de possuir forma e tamanho definidos em virtude de seu arranjo molecular ordenado e coeso. Em virtude do processo de pirólise explicado acima, a relação superfície/massa do combustível sólido irá impactar com grande importância a velocidade de queima do material. Quanto maior for a relação, mais rápido irá queimar e de maneira inversa, quanto menor for esta relação, mais devagar queimará o material.

Basta imaginar um tronco sólido de madeira de grande diâmetro. Ao tentar iniciar o processo de combustão neste tronco se perceberá que é muito difícil, justamente pela relação superfície/massa ser pequena. Ao cortar este tronco em finas chapas é fácil supor que será muito mais fácil iniciar a combustão, já que a relação superfície massa foi aumentada. Imaginando que estas finas chapas foram reduzidas a pó, é simples deduzir que a combustão será imensamente mais rápida.

b) Combustíveis Líquidos

De maneira semelhante, mas não igual aos combustíveis sólidos, os líquidos também precisam passar por um processo de transformação antes de estarem aptos a formar uma mistura inflamável. Nos combustíveis líquidos é necessário que as moléculas que se encontram na superfície do líquidos passem para a forma de vapor e isto também é feito pela ação do calor - só que neste caso não é a pirólise que age e sim a vaporização. Os vapores formados irão se misturar com o oxigênio e formar a mistura inflamável que, na presença de fontes de ignição, poderá se inflamar.

Figura 35: Combustível líquido



Fonte: Seito (2008)

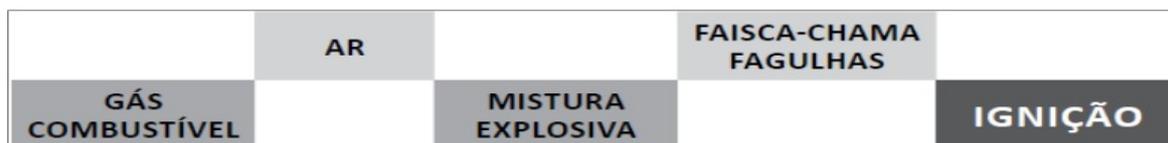
A figura acima mostra os passos necessários para um combustível líquido entre em ignição.

A vaporização demanda menor energia que a pirólise, sendo um dos motivos pelos quais os combustíveis líquidos são mais eficientes que os sólidos.

c) Combustíveis Gasosos

Por já se encontrarem na forma gasosa estão aptos a desde logo formarem a mistura inflamável com o oxigênio (ou outro comburente), não necessitando passar nem pelo processo de pirólise nem pelo de vaporização, sendo ainda mais eficientes que os combustíveis líquidos.

Figura 36: Combustível gasoso



Fonte: Seito (2008)

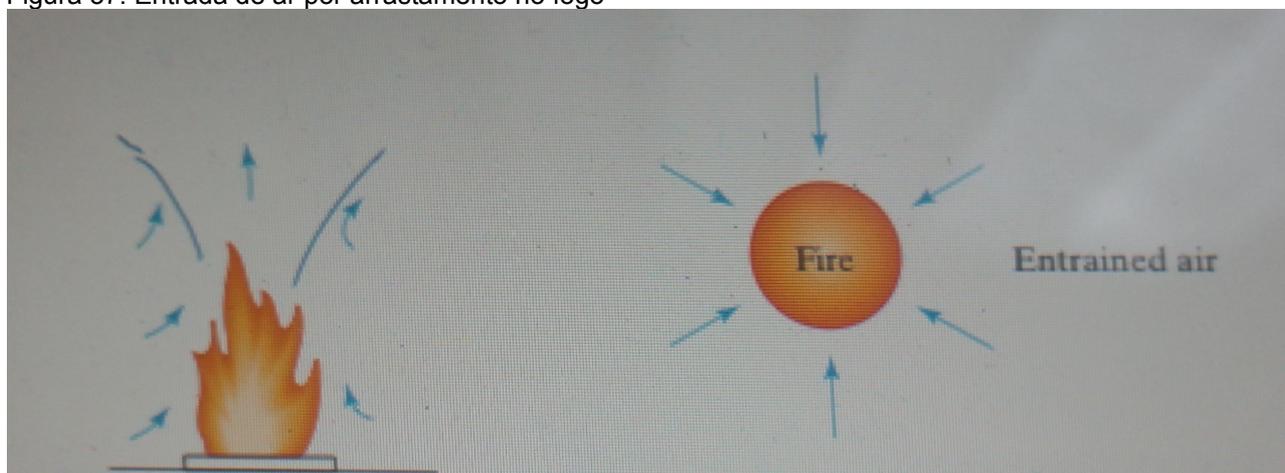
A figura acima mostra os passos necessários para que um combustível gasoso entre em ignição.

Dehaan (2012) leciona que se medíssemos a temperatura das chamas de um foco de incêndio hipotético, veríamos um padrão previsível da temperatura das chamas em

relação a altura que se encontram do combustível. Temperaturas de 700 °C a 900 °C logo acima do combustível ignizado caem para cerca de 500 °C na ponta das labaredas, onde fica bastante turbulenta e intermitente. A medida que os gases continuam a subir, também continuam a perder energia na forma de calor até chegar ao ponto de não mais subirem por já não estarem mais tão quentes e, por consequência, sua densidade já estará maior. É preciso ter em mente que a maioria dos produtos da combustão – CO₂, SO₂ – são mais pesados que o ar quando estão a mesma temperatura; CO tem quase a mesma densidade; somente o vapor de água é mais leve.

O ar circundante é sugado pela base do fogo, de forma a manter a reação e, ao mesmo tempo, difunde e refrigera os gases quentes na pluma³⁰, tal qual na figura abaixo.

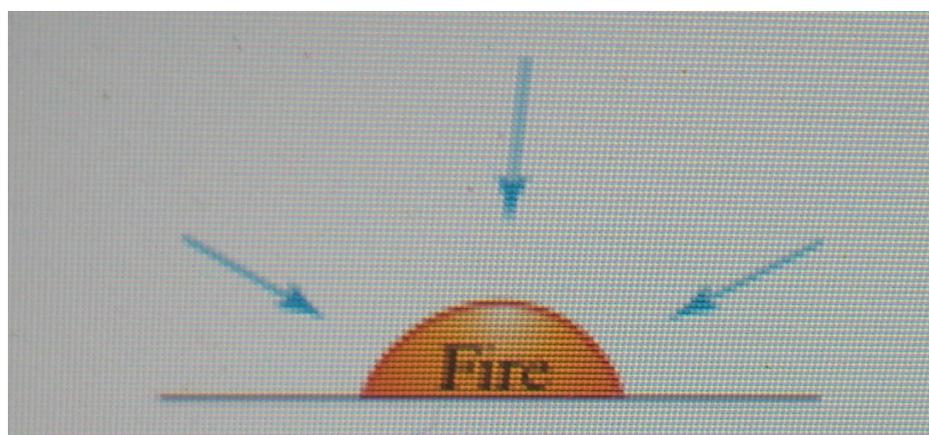
Figura 37: Entrada de ar por arrastamento no fogo



Fonte: Dehaan (2012)

Se o foco de incêndio começou encostado em uma parede não combustível, a entrada de ar é reduzida em 50%.

Figura 38: Entrada de ar bloqueada em 50% (vista superior)

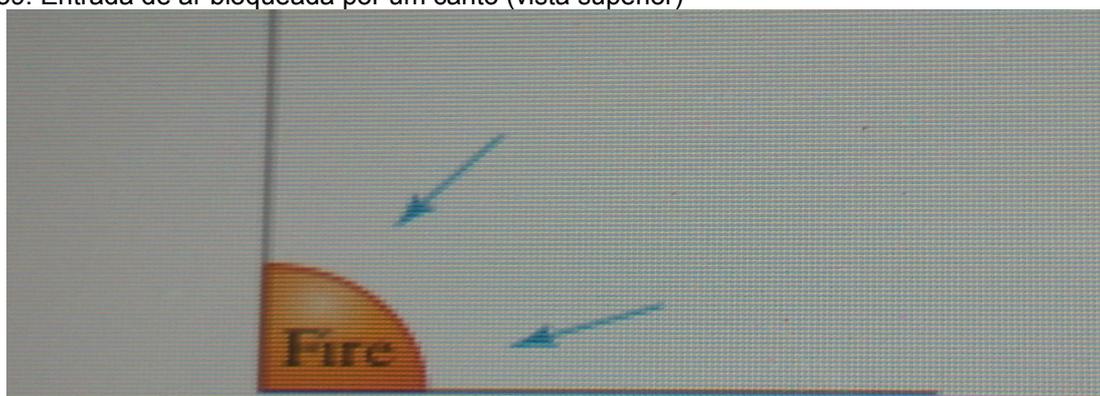


Fonte: Dehaan (2012)

³⁰Plume, em inglês

Caso os gases tenham mais tempo para subir antes que se resfriem ao ponto de não estarem mais incandescentes, a pluma de fogo visível será maior. Se o foco de incêndio estiver em um canto, a entrada de ar será ainda mais restringida e a pluma de fogo será ainda maior.

Figura 39: Entrada de ar bloqueada por um canto (vista superior)



Fonte: Dehaan (2012)

Para melhor visualização, reproduzimos abaixo imagens retiradas do livro *Kirk's Fire Investigation Handbook*.

Figura 40: Fogo em colchões semelhantes longe de paredes. Altura máxima da chama de 0,7 m



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 41: À esquerda altura máxima da chama contra uma parede não combustível em 1,5 m; à direita altura máxima da chama em um canto em aproximadamente 3 m



Fonte: Dehaan (2012)

As imagens mostram claramente a influência que a posição do combustível possui no potencial de espalhar as chamas em um ambiente.

9.2 Comburente

O oxigênio é, sem dúvida, o comburente mais conhecido por todos. De modo contrário ao combustível estudado no tópico anterior, que era o agente redutor da reação, o comburente é o agente oxidante – é quem ganha elétrons no processo de combustão. Oliveira (2005, p. 17) define que os agentes oxidantes “[...] são aquelas substâncias que cedem oxigênio ou outros gases oxidantes durante o curso de uma reação química”.

Aragão (2010, p. 80) define que comburente são “[...] as substâncias que liberam facilmente oxigênio e ativam a combustão de outros materiais, tais como nitratos e cloratos, na realidade pode-se empregar como comburente outros compostos químicos

oxigenados ou não. Por sua importância e disponibilidade, o oxigênio atmosférico se destaca”.

O ar atmosférico é composto por uma mistura homogênea de gases, estando entre os principais o dióxido de carbono, o nitrogênio, o vapor d'água e o oxigênio. Para efeitos de cálculos termodinâmicos o nitrogênio engloba os outros gases e diz-se que tem uma proporção volumétrica de 79% na atmosfera, enquanto o O₂ ocupa apenas 21% do total.

O comburente tem especial impacto na velocidade de queima de um incêndio. Oliveira (2005, p. 17) destaca que quando a quantidade de oxigênio descer de 21% para a faixa compreendida entre 16% e 8%, as chamas darão lugar a formação de brasas e, em concentrações menores do que 8% é muito provável que a combustão cesse. O mesmo autor (2005, p. 17), no entanto, chama a atenção para um fato interessante:

Entretanto, as investigações mais recentes mostram que à medida que aumenta a temperatura de um incêndio confinado, simultaneamente, menores concentrações de oxigênio são exigidas para que siga existindo a combustão com chama (fato normalmente observado em condições de temperatura de pós flashover – nas fases de desenvolvimento completo e diminuição do fogo – quando as concentrações de oxigênio são muito baixas, mas a temperatura interna do ambiente é muito alta).

A informação trazida pelo autor é da maior importância, pois vai de encontro ao que é comumente ensinado em cursos de Ciência do Fogo, em que a necessidade de oxigênio é contante, sem se alterar com a fase do incêndio.

9.3 Calor

O calor é por definição uma forma de energia. Aragão (2010, p. 78) define que o calor “[...] é uma forma de energia (em trânsito) caracterizada pela vibração das moléculas, capaz de causar mudanças físicas (de estado) e/ou químicas, e que se transmite de um sistema para outro, quando há uma diferença de temperatura (medida da agitação dos constituintes de um corpo) entre eles. O calor ou energia calorífica abarca componentes de condução, convecção ou radiação”.

O calor não é gerado somente por meio das reações de combustão, diversas outras formas de energia podem, eventualmente tornar-se energia térmica – fato explicado pela lei da conservação de energia. Oliveira (2005, p. 20) cita que:

O calor ou energia calorífica é gerado pela transformação de outras formas de energia, a saber, energia química (a quantidade de calor gerado pelo processo de combustão), energia elétrica (o calor gerado pela passagem de eletricidade através de um condutor, como um fio elétrico ou um aparelho eletrodoméstico),

energia mecânica (o calor gerado pelo atrito de dois corpos) ou ainda, energia nuclear (o calor gerado pela fissão ou fusão de átomos).

É importante destacar o que Sarte (2009) traz em seu trabalho: os materiais combustíveis não têm calor “armazenado” neles, uma vez que este é por definição uma energia em trânsito. O que eles possuem é energia interna, uma forma de energia que é estudada em profundidade pela termodinâmica, principalmente pela sua primeira lei.

Pela conjugação dos ensinamentos de Russel (1994) e Atkins (2006) pode-se indicar que a energia interna de um combustível, representado pela letra U, é a soma das energias cinética e potencial de suas moléculas e ligações químicas. E ainda que devido aos constantes movimentos das partículas, é gerada uma energia térmica a qual é diretamente proporcional à temperatura do corpo.

Aragão (2010, p. 78) traz uma série de consequências nas substâncias e corpos pela ação do calor

- 1) É responsável direto pela dilatação dos corpos, sejam sólidos líquidos ou gasosos. Caso um gás esteja confinado, o calor será responsável pela sua dilatação e conseqüentemente pelo aumento de pressão dentro do local de confinamento;
- 2) É a força motriz pela qual a matéria consegue mudar seu estado físico;
- 3) É responsável pela ignição dos combustíveis;
- 4) É responsável pela alteração da resistência estrutural dos corpos.

O calor é a forma mais importante de energia na investigação de incêndios, uma vez que os vestígios que serão deixados na cena serão, na sua maioria, em virtude da ação do calor.

9.4 Reação em Cadeia

É um elemento relativamente novo ao estudo da Ciência do Fogo, e foi graças a sua inserção que o triângulo do fogo tornou-se o tetraedro do fogo. Sabe-se hoje em dia que, a partir de determinada temperatura, a reação de combustão gera o próprio calor necessário para que continue processando-se. O mecanismo simplificado desta reação em cadeia é explanado por Oliveira (2005, p. 20):

A cadeia de reações, formada durante a combustão, propicia a formação de produtos intermediários instáveis, principalmente radicais livres, prontos a se combinarem com outros elementos, dando origem a novos radicais ou, finalmente, a corpos estáveis. Conseqüentemente, sempre teremos a presença de radicais

livres em uma combustão. A estes radicais livres cabe a responsabilidade de transferir a energia necessária para a transformação da energia química em energia calorífica, decompondo as moléculas ainda intactas e, desta vez, provocando a propagação do fogo numa verdadeira cadeia de reação. Portanto, a reação em cadeia torna a queima auto-sustentável.

Uma analogia que facilita o entendimento da reação em cadeia é a de enfileirar dominós um em frente ao outro e, após derrubarmos o primeiro – ou seja, transferirmos energia ao sistema –, a energia desencadeada pela queda da primeira peça é suficiente para derrubar a próxima, que é suficiente para derrubar a próxima, etc.

Capítulo 10 – Flashover, backdraft, boilover e BLEVE

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *flashover*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Explicar com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *backdraft*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 3) Explicar, com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como *boilover*, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 4) Explicar com suas palavras, o que é o fenômeno conhecido como BLEVE, de acordo com o que foi repassado na lição.

10.1 Flashover

Segundo a apostila de Combate a Incêndio do CBMSC, flashover é o fenômeno que acontece em incêndios que, após determinado tempo, todos os gases combustíveis resultantes da queima entram em ignição simultaneamente, com efeitos similares de uma explosão.

Flatley (2005, p.01) define o flashover como o “envolvimento súbito de um quarto ou área por chamas do chão ao teto, causado pela realimentação de radiação termal”. A radiação a que se refere o autor é energia sendo irradiada de volta a tudo que está em determinado local, como móveis, paredes, assoalho e teto. Essa energia radiante presente irá aumentar a temperatura de **todos** os conteúdos do local às suas respectivas temperaturas de ignição. Quando todos os conteúdos entrarem, repentinamente e simultaneamente, em ignição, então o flashover terá acontecido.

O autor continua dizendo que vários fatores irão influenciar na maior ou menor possibilidade da ocorrência do flashover: o tamanho do local, os combustíveis presentes, a disponibilidade de ar e até mesmo o grau de isolamento que é disponibilizado ao incêndio. Vamos tratar um pouco de cada um agora.

Não é difícil imaginar que o quarto de uma quitinete tem maiores chances de sofrer um flashover do que um enorme galpão. Tudo está muito próximo e a radiação demora

pouquíssimo tempo para atingir qualquer combustível presente – fato este que aumenta a absorção do calor. Já no supracitado galpão, a energia precisaria viajar mais tempo para atingir os combustíveis, perdendo parte do seu calor no caminho.

Caso o local do sinistro esteja lotado de móveis, tecidos e outros materiais combustíveis, então haverá mais fogo e, conseqüentemente, mais radiação térmica – o que aumenta vertiginosamente a possibilidade de ocorrência de um flashover.

O suprimento de ar adequado irá possibilitar o crescimento do fogo para produzir a ignição súbita generalizada³¹. Flatley (2005) informa que um quarto comum possui combustíveis suficientes para produzir um incêndio de proporções adequadas. O que é preciso é que o ar “abane” as chamas, de modo a manter a reação de combustão alimentada de comburente.

Por fim, o isolamento. Quanto melhor for o isolamento térmico fornecido pelas paredes, teto, assoalho ou qualquer outro anteparo que possa concentrar o calor na região, maior será a chance da ocorrência do flashover, pois assim a radiação ficará restrita a uma determinada área e sua energia não será perdida para outros locais.

É importante que as guarnições se atentem para alguns sinais característicos deste tipo de fenômeno – trazidos pela apostila de combate a incêndio do CBMSC:

a) Fumaça densa: Devido a restrição da área, a fumaça formada tenderá a se acumular, aumentando sua densidade. Também estará alimentada com gases provenientes da combustão ainda não inflamados, sendo necessário apenas atingir a temperatura de ignição para que queimem.

b) “Línguas de fogo” na fumaça preta, que tendem a ir para aberturas como frestas de janelas e portas: Como o oxigênio na localidade estará diminuindo a medida que o incêndio avança, as chamas na fumaça preta irão ter a tendência de procurar qualquer abertura que permita o contato com o oxigênio.

c) Rollover: Acontece o rebaixamento do plano neutro e há um aumento na turbulência da fumaça, bolas de fogo parecem “rolar” na densa fumaça preta.

Devido ao perigo associado aos flashovers é preciso que se saiba maneiras de preveni-lo. Flatley (2005) aponta duas maneiras: ventilação e resfriamento. A primeira é

³¹Esta é a tradução mais aceita do termo flashover

aquela em que ventilação horizontal ou vertical é aplicada de modo a não deixar que os gases acumulem-se no plano neutro e que a radiação não consiga ficar sendo retroalimentada ao sistema; no entanto é importante que os gases sejam direcionados para um local seguro, de tal maneira que a fumaça não invada compartimentos antes livres e para que não se formem focos secundários devido ao calor dos gases.

A segunda maneira seria resfriar a área com a água da mangueira. Apesar de ser ensinado em cursos de combate a incêndio que nunca se deve jogar água na fumaça, em algumas situações necessitam que isto seja feito. Quando os bombeiros identificarem a fumaça negra densa, que é um dos sinais indicativos do flashover, e não havendo chance de sair do local, a melhor coisa a fazer é abrir um jato de água na fumaça e resfriá-la, pois isto irá diminuir as chances do acontecimento de um backdraft.

Abaixo, algumas imagens de *flashover* retiradas da internet.

Figura 42: Flashover



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:

<<http://johnkennyauthor.com/wp-content/uploads/2013/10/flashover.jpg>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 43: Bombeiros se protegem em um flashover



Fonte: Site Fire Nation. Disponível em:

<<http://my.firefighternation.com/photo/flashover-suppression-sweden/next?context=user>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 44: Objetos entram em ignição em um flashover



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:

<<http://vignette4.wikia.nocookie.net/powerlisting/images/3/34/Flashoverfire.jpg/revision/latest?cb=20130417154249>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

As imagens acima podem fornecer uma referência visual do perigo inerente a um flashover para o leitor que nunca tenha presenciado um.

10.2 Backdraft

Imagine um incêndio confinado em uma casa comum. À medida que o fogo se mantém aceso dentro da edificação, diminuirá a quantidade de oxigênio disponível no local, pois a reação de combustão o estará consumindo como comburente. Quando a quantidade de oxigênio não estiver mais nas proporções estequiométricas na combustão completa, ela começará a se processar de maneira incompleta, gerando, como já estudamos, monóxido de carbono (CO) em vez de dióxido de carbono (CO₂).

O material didático de combate a incêndio do CBMSC elenca o monóxido de carbono como um gás incolor, inodoro, com grande toxicidade e que possui um amplo espectro de explosividade, com limite inferior em 12,5% e o superior em 74% no ambiente, e entra em ignição a 605 °C – temperatura essa facilmente atingível em incêndios estruturais confinados.

A situação hipotética citada no primeiro parágrafo é bastante instável, pois todos os elementos necessários para a combustão estão presentes, exceto o comburente. Caso uma abertura forneça uma quantidade suficiente de oxigênio sem que os gases da combustão incompleta acumulados tenham sido retirados do local anteriormente, **poderá acontecer uma ignição repentina dos gases de maneira explosiva e com consequente deslocamento de ar.**

Flatley (2005) afirma que essa entrada súbita de ar pode ser tanto pela realização de uma entrada pelos combatentes do corpo de bombeiros ou até mesmo pela quebra de uma janela devido a pressão exercida pela fumaça.

Devido ao perigo de estar dentro ou próximo de um ambiente prestes a sofrer um *backdraft*, é preciso que se saiba os sinais da sua ocorrência. A apostila de combate a incêndio do CBMSC traz os seguintes:

a) Fumaça escura e densa em movimento de revolução pelo ambiente, que quando saindo por frestas o faz em forma pulsante. Isto ocorre porque o incêndio está numa condição limitada de oxigênio, o que faz com que os gases “procurem” qualquer fonte de oxigênio – e o faz pelas aberturas disponíveis nas janelas e portas. Já o pulsar da fumaça é devido a expansão dos gases combustíveis devido as pequenas combustões que estão acontecendo dentro do ambiente propenso ao *backdraft*.

b) Poucas chamas visíveis que surgem quando encontram o ar. Quando os gases confinados conseguem passar pelas frestas disponíveis e misturar-se com o oxigênio atmosférico, entram em combustão. No entanto a quantidade de comburente não é suficiente para fazer com que toda a massa se ignize. Em vista disso, as pequenas labaredas entram em combustão e logo se apagam.

c) Fluxo de corrente de ar para dentro do ambiente, intermitentemente. Isto acontece também de forma pulsante, devido a sucção de oxigênio para dentro do ambiente sinistrado.

d) Janelas enegrecidas. Isto ocorre em decorrência da fumaça negra extremamente densa que é formada antes do fenômeno, o que faz com que os vidros fiquem com um aspecto manchado.

e) Paredes, portas e maçanetas muito quentes. A temperatura dentro de um ambiente propenso ao *backdraft* será muito grande. Uma maneira empírica de determinar isto é aplicar jatos neblinados nestes locais, caso a água se evapore quase instantaneamente, então se deve considerar o risco de um *backdraft*.

f) Sons que parecem um assobio ou rugido. Isto ocorre devido a saída sob pressão dos gases de dentro da edificação e também pela sucção do oxigênio para dentro do ambiente.

g) Ausência de chamas. Em um ambiente com chances de sofrer um *backdraft* haverá pouca oferta de oxigênio e o mais provável é que não haja chama alguma, talvez só brasas. É preciso que se use o discernimento e se desconfie de ambientes que estejam muito quentes mas fogo visível algum.

h) Presença de uma substância parecida com óleo nas janelas. A fumaça que estará presente no ambiente tem entre seus componentes fuligem e vapor de água. A mistura destes dois elementos pode se condensar nas janelas e formar estes depósitos.

Segundo Flatley (2005), existe a chance de que exista um espaço de tempo considerável entre a abertura de uma porta ou janela e a ocorrência do fenômeno

propriamente dito. Geralmente o *backdraft* acontece poucos segundos após a admissão do oxigênio no ambiente, mas é importante que se saiba que não é só porque a explosão não aconteceu nos primeiros segundos que ela não vai mais acontecer. Por isso é muito importante que se faça rotas de saída para os gases o mais alto possível antes da entrada das guarnições no local.

Por fim cabe assinalar duas diferenças dos fenômenos de *flashover* e *backdraft*, trazidas por Flatley (2005). Enquanto o primeiro acontecerá na fase de desenvolvimento do incêndio, o segundo acontece no início e no fim do incêndio – que é quando a concentração de oxigênio estará menor.

A outra diferença é que o *flashover* é um fenômeno **induzido por calor**, o *backdraft* é induzido **pelo comburente**.

Figura 45: Backdraft



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:

<<http://media.dma.mil/2007/Nov/17/158228/-1/-1/0/071117-m-1283d-013.jpg>>. Acesso em 22 de agosto de 2015

Figura 46: Backdraft simulado



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: http://s3.amazonaws.com/rapgenius/1347040019_7-Backdraft.jpg. Acessado em 22 de agosto de 2015

Figura 47: Sequência mostrando um backdraft em andamento



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://www.firerescue-indonesia.org/images/image/backdraft.jpg>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

10.3 Boilover

Conforme já vimos em lições anteriores, os combustíveis líquidos não queimam em profundidade, somente em superfície. Apesar disso, o calor gerado aquece o líquido inteiro. O aquecimento pode provocar a aceleração da vaporização e do desprendimento de vapores inflamáveis do combustível, aumentando as chamas do incêndio.

Caso os bombeiros lancem água diretamente sobre o combustível, o excesso de água não vaporizado irá acumular-se no fundo do recipiente – uma vez que é mais densa - e sofrer um aumento de temperatura devido a troca de calor.

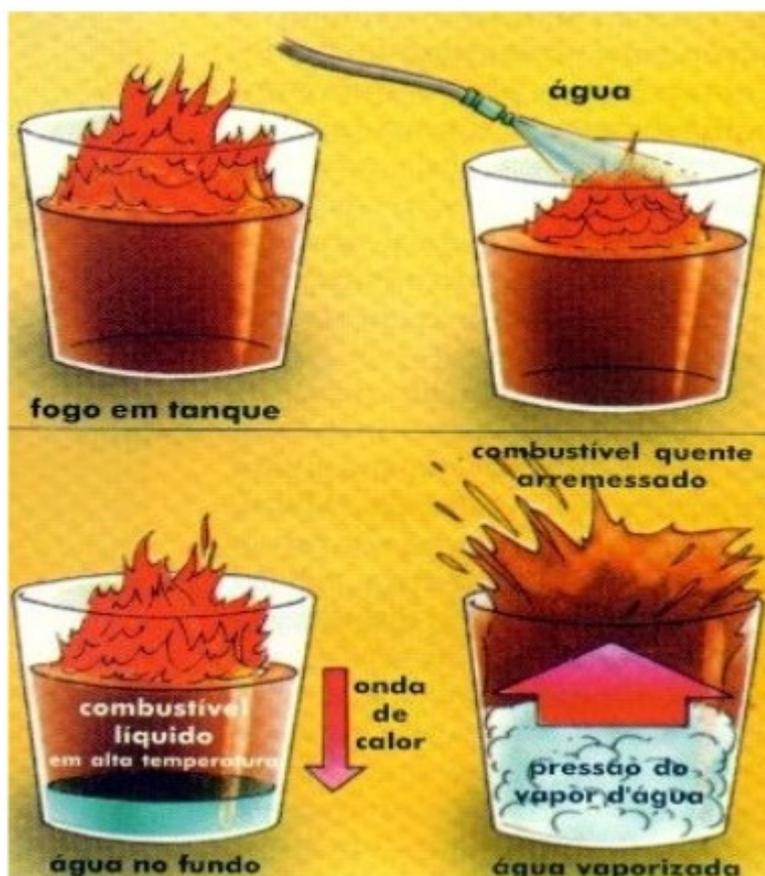
No momento em que a maior parte da massa de água no fundo do recipiente atingir sua temperatura de ebulição, será formada uma corrente ascendente de vapor d'água que irá tender a escapar do líquido. No seu caminho para fora, a bolha de vapor irá empurrar para cima todo combustível que estiver em seu caminho, fazendo com que ele seja espalhado por uma grande área e possivelmente gerando outros focos de incêndio.

Laport (2015, p. 30) define o *boilover* como “[...] uma violenta e inesperada projeção de gotículas em chamas do fluido combustível devido à abrupta evaporação de água acumulada no fundo do tanque. Como resultado, tem-se uma ampliação do incêndio e a formação de uma enorme bola de fogo sobre o tanque”.

O autor ainda afirma que, mesmo que a água não atinja sua temperatura de ebulição, ainda há riscos. Pois a água pode causar o transbordamento do líquido inflamável – o que também poderá causar o espalhamento das chamas para locais antes não atingidos pelo fogo. Até mesmo a utilização do líquido gerador de espuma – LGE – pode ocasionar um evento de *boilover* pois contém água residual.

A seguir, algumas imagens de *boilovers*.

Figura 48: Desenvolvimento de um boilover



Fonte: CBMSC(2014)

Figura 49: Boilover captado por câmeras de alta definição

Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <http://i.ytimg.com/vi/mD4v8z4jfYw/hqdefault.jpg>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

Figura 50: Boilover em pleno desenvolvimento



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://i.ytimg.com/vi/0JDCVCGnUSs/hqdefault.jpg>>. Acessado em 22 de agosto de 2015.

É importante mostrar que o *boilover* não se restringe a acidentes domésticos. Como se pode ver acima, existem *boilovers* de grandes proporções.

10.4 BLEVE

Imagine que um líquido, inflamável ou não, está confinado em um recipiente fechado. Agora imagine que uma fonte de energia calorífica comece a esquentar o conteúdo do recipiente. Uma série de equilíbrios físico químicos irão se estabelecer, gerando uma mistura de líquido e vapor numa proporção dada pela Lei de Raoult. A presença adicional deste gás ou vapor irá aumentar a pressão interna do vasilhame.

Se essa pressão aumentar a tal ponto que a resistência do recipiente não consiga mais contê-la, então haverá um rompimento no receptáculo e o vapor e/ou líquido irá escapar com violência, pondo a perigo quem estiver por perto.

Um rompimento de grander proporções irá ocasionar uma grande onda de impacto e calor. Caso o rompimento seja pequeno, ocorrerá simplesmente a liberação do gás até que a pressão interna se equalize com a externa.

Ainda que o líquido contido dentro do recipiente não seja inflamável, ainda assim a explosão pode ser muito perigosa. Dehaan (2012, p. 517) informa que explosões envolvendo aquecedores a gás são conhecidas por já terem destruído casas.

Segundo Dehaan (2012), um dos sinais que podem indicar que um **BLEVE** aconteceu é a seguinte: quando um recipiente contendo um líquido é exposto ao calor, o líquido no interior em contato com o receptáculo irá absorver parte do calor por condução, enquanto que a parte do recipiente que estava somente em contato com o gás não sofrerá essa perda de calor. Isto pode resultar em uma marca no exterior do receptáculo que irá indicar a posição do líquido antes do acontecimento.

O autor ainda menciona que é uma boa prática utilizar água para resfriar o recipiente para prevenir que o aquecimento continue gerando gases que irão aumentar a pressão interna e aumentar o risco de explosão. Mas **nunca** deve-se utilizar jatos compactos ou jatos em um único ponto por muito tempo, pois isto pode ocasionar o enfraquecimento do material.

Figura 51: BLEVE em um tanque de combustível



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://www.ingenieriadepetroleo.com/wp-content/uploads/2012/11/bleve1.png>>. Acesso em 22 de agosto de 2015.

Figura 52: BLEVE impulsiona os gases inflamáveis com grande velocidade para fora



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <<http://www.ambirk.com/02-2%20corner%201.jpg>>. Acessado em 22 de agosto de 2015

Mais do que simples rompimentos de receptáculos de gás GLP, os fenômenos de BLEVE podem chegar a proporções catastróficas, como mostra a imagem acima.

Capítulo 11 – Evolução Típica de Incêndios

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de início de um incêndio, de acordo com a lição;
- 2) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de crescimento de um incêndio, de acordo com a lição;
- 3) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de crescimento à flashover de um incêndio, de acordo com a lição;
- 4) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de pós flashover de um incêndio, de acordo com a lição;
- 5) Descrever, com suas palavras e brevemente, o que acontece na fase de decrescimento de um incêndio, de acordo com a lição;
- 6) Citar pelo menos três influencias que o ambiente pode ter em um incêndio típico.

Incêndios em compartimentos com uma carga normal de combustíveis – ou seja, tudo o que é passível de incendiar-se no local, desde as estruturas até o mobiliário – passam por estágios previsíveis durante sua existência. Aragão (2010, p. 127) aponta que tirando a mudança de cenário, quando for o caso, os incêndios distinguem-se pelo agente ígneo, pela forma como ocorreu a instalação do fogo, como se desenvolveu e foi extinto. A duração de cada fase vai variar com as características de cada fenômeno, como por exemplo as circunstâncias relativas à ignição, o tipo de combustível e a presença ou não de ventilação.

A partir de agora vamos tratar de maneira pormenorizada sobre cada uma destas fases.

11.1 Início

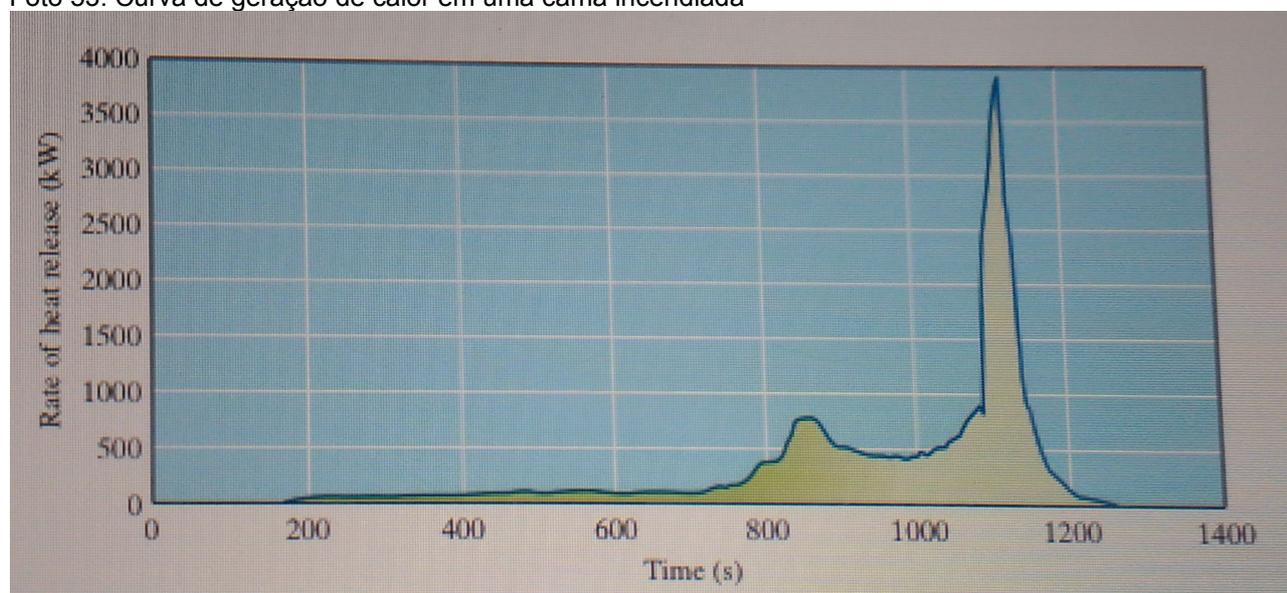
É a primeira fase de desenvolvimento do fogo e se inicia no momento da ignição. As chamas estão restritas ao combustível que primeiro se ignizou. A quantidade de

oxigênio é normal – cerca de 21% no ar atmosférico – e a temperatura do compartimento ainda é praticamente a mesma.

Dehaan (2012) afirma que a composição dos gases da combustão irá depender de qual é o combustível, mas de maneira geral se tem fuligem, vapor d'água, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e também traços de outros gases perigosos.

As redes de convecção levam os gases e o calor para as partes mais altas do local e sugam oxigênio pela base do foco de incêndio, de modo a manter a reação. Dehaan (2012, p. 55) aponta que “um incêndio incipiente³² tem uma taxa de geração de calor tão baixa que a na maioria das vezes as temperaturas não serão mensuravelmente afetadas”.

Foto 53: Curva de geração de calor em uma cama incendiada



Fonte: Dehaan (2012)

Perceba que a taxa de liberação de calor por mais 750 segundos foi de menos de 100 kW, corroborando a informação que fornecemos acima.

11.2 Crescimento

O fogo vai ficando mais intenso a medida que mais combustíveis vão participando do incêndio. Dehaan (2012) explica que as formas de transmissão de calor de convecção e radiação espalham as chamas para cima e para fora do foco inicial do incêndio até que outros combustíveis próximos começam a atingir seus pontos de ignição, o que acaba por

³²É um outro nome para a fase inicial do incêndio

causar o espalhamento lateral do fogo, sendo que a velocidade com que isto acontece vai depender do quão perto estão os outros materiais e também de como estão dispostos.

Obviamente que, quanto mais próximos os outros materiais, mais rápido irá se espalhar o incêndio e aumentará a taxa de liberação de calor. No entanto, Dehaan (2012, p. 56) leciona que até que o fogo atinja proporções moderadas – por volta da liberação de calor de 200 kW – a radiação de calor não terá grandes efeitos, sendo neste momento mais importantes as transferências por convecção e contato direto com as chamas.

O autor prossegue explicando que nesta fase há a geração de uma camada de fumaça próxima ao teto do local onde o incêndio começou, sendo que esta camada tem sua temperatura elevada a medida que a reação de combustão continua, mais calor é liberado e mais gases aquecidos vão se acumulando.

Esta camada estará em elevada temperatura, pobre em oxigênio e, conforme expõe Dehaan (2012), será composta de fuligem, fumaça e produtos da pirólise dos produtos – incluindo produtos tóxicos como o monóxido de carbono, ácido cianídrico, ácido clorídrico e radicais livres. Já a fumaça próxima ao foco ainda estará relativamente rica em oxigênio e a temperaturas mais amenas. Há grandes chances de sobrevivência nesta camada, desde que não se respire os gases presentes nas mais altas.

No entanto, a camada mais alta vai ganhando cada vez mais volume ao longo da combustão, ficando cada vez mais próxima do solo – com conseqüente aumento da temperatura geral do ambiente. Caso a camada chegue ao nível do fogo, é provável que se extinga qualquer chama pois haverá uma redução drástica da disponibilidade de oxigênio para manter as chamas.

A massa de gases combustíveis, fuligem e fumaça se acumulará, geralmente até que um dos combustíveis presentes atinja a temperatura de ignição ou pelo calor acumulado ou pelo contato com as chamas do foco principal. Segundo Dehaan (2012), este processo é conhecido como **flameover** ou **rollover**. A frente de queima da camada pode atingir de 3 a 5 m/s – essa elevação súbita da temperatura faz com que a camada de gases se expanda, ocupando ainda mais o espaço em que está presente. Dehaan (2012) aponta que testes mostraram que flameovers que aconteceram em residências fizeram com que as chamas tomassem completamente a sala de estar da casa – do chão ao teto – em apenas 7,5 segundos, fazendo com que os bombeiros tivessem que bater em retirada.

11.3 Crescimento à Flashover

Ainda que o fenômeno do flameover não aconteça, o calor radiante emanado pela camada de gases aquecidos no teto está atingindo todos os materiais dentro do compartimento à uma taxa que irá depender da temperatura da camada. Dehaan (2012) afirma que, quando ela atingir uma **temperatura crítica de aproximadamente 600 °C**, estará gerando aproximadamente 20 kW/m² de calor radiante. Esta taxa de liberação de calor é suficiente para elevar quase todos os combustíveis às suas temperaturas de ignição – fazendo com que todo o local seja envolvido em chamas. Este estado, como já estudamos, é conhecido como **flashover**.

Uma vez atingido este estágio, todos os combustíveis disponíveis estarão ignizados, as temperaturas terão atingido seu máximo e a sobrevivência por mais de alguns segundos é impossível.

Dehaan (2012) explica que a medida que cada elemento presente entra em combustão, emitirá radiação a uma determinada taxa que é uma função de sua temperatura, do seu arranjo e até mesmo de como entrou em ignição. A soma destas contribuições individuais vai aumentando a temperatura da camada próxima ao teto – a qual está continuamente perdendo calor para o ambiente. Quando calor suficiente é disponibilizado em um tempo pequeno, poderá acontecer o flashover. Dehaan (2012, p. 59) aponta a quantidade de calor fornecida por alguns itens comuns em residências. Os dados estão apresentados na tabela abaixo.

Quadro 7: Taxa de liberação de calor de alguns itens comuns

Combustível	Taxa de liberação de calor
Cadeira	150 a 700 kW
Sofás	250 a 3000 kW
Colchões	150 a 2800 kW
Árvores de Natal	800 a 1600 kW
Estante com 100 VHS	800 kW
Uma poça com 1,9 L de querosene	900 a 1000 kW

Fonte: Dehaan (2012)

Após um evento flashover a quantidade de oxigênio disponível cai drasticamente e aumenta a quantidade de monóxido de carbono no ambiente.

Um ambiente termicamente isolado é mais propenso a reter calor suficiente para possuir um incêndio plenamente desenvolvido do que um com paredes e teto

extremamente condutores. Segundo Dehaan (2012), nem todos os incêndios atingem o flashover. Se as aberturas para aeração do fogo forem muito pequenas, não haverá oxigênio suficiente para que ele cresça completamente. Se forem muito grandes, o fogo terá que ser muito forte de modo a a sobrepor as perdas de calor e para formar a camada de gases aquecidos necessários para a formação do flashover – se a camada nunca atingir a temperatura crítica não haverá flashover.

11.4 Pós Flashover

Atingido o estágio pós flashover, todos os combustíveis continuarão a queimar enquanto houver disponibilidade de comburente ou até que tenham sido completamente comburidos. A quantidade de calor não é mais limitada por quantos combustíveis estão liberando energia, porque tudo está em chamas. O tamanho do fogo agora é definido pela quantidade de ar que pode entrar no ambiente e alimentar as chamas. Dehaan (2012, p. 61) informa que o tamanho será determinado pelos fluxos ascendentes de gases quentes dentro e fora do local. A relação matemática que modela este processo é dada por

$$Q_{\text{máx}} = \Delta H_{\text{ar}} \times m_{\text{máx}} = 3000(0,5A_o(h_o)^{0,5}) = 1500A_o(h_o)^{0,5}$$

Em que ΔH_{ar} é de 3000 kJ/kg, $m_{\text{máx}}$ é a convecção máxima, A_o é a área da abertura em m² e h_o é a altura em m. Uma porta simples – 80 cm de largura e 2 m de altura – fornece ar suficiente para sustentar um incêndio de 3 MW em um compartimento.

11.5 Decaimento

Eventualmente, a quantidade de combustível disponível é exaurida e a queima com chamas vai se tornando mais e mais improvável, devido a quantidade cada vez menor de oxigênio. Assim, predomina o incêndio *smoldering*³³, que continuará enquanto houver material disponível para queimar. De acordo com Dehaan (2012), as temperaturas podem continuar altas se houver material inflamável e isolamento térmico adequado.

Se não forem tomadas as devidas precauções, os gases gerados durante esta fase podem gerar as condições necessárias para o acontecimento do *backdraft*, o qual já estudamos.

³³É o incêndio sem a presença de chamas

Essa sequência não acontece em todos os incêndios. Alguns incêndios já podem iniciar de modo *smoldering* até chegar a um ponto em que a temperatura e a taxa de liberação de calor são suficientes para começar um incêndio com chamas. **Assim, o smoldering não deve ser considerada uma fase final dos incêndios.**

Figura 54: Fase de início das chamas



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 55: Fase de crescimento



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 56: Fase de crescimento a flashover



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 57: Fase de pós flashover



Fonte: Dehaan (2012)

Figura 58: Fase de decaimento



Fonte: Dehaan (2012)

As imagens acima mostram um incêndio com cada uma de suas fases típicas, da eclosão ao decaimento.

11.6 Influência das condições ambientais

É inegável que as condições ambientais influenciam no desenvolvimento e na propagação de um incêndio. Qual será o papel que a temperatura, a umidade, o teor de

umidade do combustível, ventos e a concentração de oxigênio nos incêndios? Veremos a seguir.

11.6.1 Temperatura

Com todos os outros fatores mantidos constantes, é mais provável que incêndios de proporções maiores se desenvolvam em um dia quente do que em um dia frio. Isto se deve, basicamente, por causa de dois fatores. Primeiro: o calor, como todos sabem, desidrata. Logo, os combustíveis em um dia quente já estarão mais secos do que em um dia com clima mais ameno, fazendo com que a ignição seja mais rápida e fácil.

Segundo: como já estudado em capítulo anterior, a taxa da reação de combustão praticamente duplica a cada aumento de 10 °C. Com a lembrança desta “propriedade” da reação, é fácil perceber que os incêndios se processarão muito mais rápido em suas **fases iniciais** em um dia quente. De acordo com Dehaan (2012), nas fases plenamente desenvolvidas do incêndio não se percebe influências significativas da temperatura do ambiente.

No entanto, as variações de temperatura no interior das habitações tem pouca influência na grande maioria dos incêndios porque essas variações quase nunca são grandes o suficiente para fazer alguma diferença. O supracitado autor ainda menciona que a temperatura antes do início da eclosão do foco inicial pode ter influência em vários aspectos, como o pré aquecimento dos combustíveis, a pressão de vapor em combustíveis líquidos ou até mesmo a distribuição dos vapores – sendo por isso muito importante que o investigador tenha em mente a temperatura ambiente do local no dia, e se possível na hora, do incidente.

11.6.2 Umidade

Quando dizemos “umidade” estamos nos referindo a quantidade de vapor d'água contido no ar. A quantidade de umidade no ar é uma função da temperatura: em dias mais quentes o ar pode conter mais umidade e, em dias mais frios, menos. Existem dois tipos de umidade: a absoluta e a relativa. Para a investigação de incêndio estamos mais interessados na segunda, pois se refere a percentagem de saturação de umidade no ar que realmente está presente. Por exemplo, uma umidade relativa de 50% quer dizer que o ar contém metade da saturação que consegue ter para aquela determinada

temperatura. Caso haja um aumento súbito da temperatura sem modificarmos as condições de umidade, perceber-se-á que a umidade relativa irá diminuir, mas a quantidade de água será a mesma.

Empiricamente se percebe que em dias mais quentes e secos há maiores chances de incêndios se deflagrarem do que em dias úmidos ou chuvosos.

Dehaan (2012) ainda menciona que um outro efeito raramente creditado à umidade são os arcos elétricos resultantes de descargas eletrostáticas e pelas pequenas faíscas produzidas pela fricção de materiais – como quando batemos uma faca na beirada de uma pedra. A eletricidade estática tende a se acumular mais em dias secos do que em dias mais molhados, uma vez que nestes últimos a eletricidade tende a dissipar-se pela umidade e raramente se consegue chegar ao valor necessário para um arco visível. Já sobre as faíscas é notório que o ar seco conduz calor de maneira menos eficiente, desse modo as faíscas conseguem manter sua temperatura por mais tempo. Essas faíscas conseguirão iniciar o processo de ignição mais facilmente em combustíveis secos do que nos molhados.

O mesmo autor ainda afirma que esses efeitos da umidade sobre o desenvolvimento do fogo são mais marcantes nos estágios iniciais dos focos de incêndio, pois nos incêndios já plenos a umidade relativa do ar terá pouco ou nenhum efeito sobre o desenvolvimento das próximas fases.

11.6.3 Umidade contida no combustível

Segundo Dehaan (2012), cada 1 grama de água precisa de um calor de 4,4 kJ para ser evaporada e é este o motivo pelo qual combustíveis com umidade interna precisam de mais calor para entrarem em ignição do que aqueles secos. A umidade estudada no tópico anterior não deve ser confundida com a que estamos tratando agora, pois são coisas diferentes.

O orvalho matinal, ou até mesmo uma neblina densa, tendem a formar camadas de água sobre as superfícies que estão em contato, dificultando o processo de combustão delas. Entretanto, os combustíveis que estão úmidos por dentro devido a absorção são ainda mais difíceis de queimar do que aqueles que apenas possuem uma película de orvalho.

Testes realizados pelo *California Bureau of Home Furnishings* em árvores de natal secas produziram emissões de calor máximas na faixa de 800 kW. Uma árvore similar

intensamente umidificada antes do teste teve uma emissão máxima da ordem de cerca de 200 kW apenas.

De acordo com Dehaan (2012), o efeito da umidade nos combustíveis é o mesmo, sejam eles sólidos com água interna presente ou materiais orgânicos mais complexos como a gordura ou carne – as quais contêm H₂O em suas estruturas. Como todos já tivemos o prazer de provar em churrascos, carne pode sim queimar desde que a água interna seja evaporada antes.

Os efeitos da água no incêndio são a base do combate a incêndio executado pelos corpos de bombeiros. Se um excesso de água for fornecido ao fogo e a quantidade de calor não for suficiente para evaporá-la, o incêndio será finalizado dentro de pouco tempo pois a temperatura será abaixada a tal ponto que a reação será interrompida. Como já estudamos, os incêndios classe D – metais pirofóricos – não podem ser combatidos com água pois geram hidrogênio, um **excelente** combustível.

11.6.4 Vento

Os ventos geralmente só são considerados como fator de dispersão em incêndios em vegetação, mas eles podem sim ter papel preponderante em incêndios estruturais, principalmente após a destruição de janelas. Dehaan (2012) afirma que portas podem ser fonte de correntes de ar que aumentam o espalhamento horizontal dos focos de incêndio por compartimentos antes não atingidos e ventos provenientes das janelas podem ser ainda mais nocivos.

Dehaan (2012, p. 68) informa que testes recentes realizados pelo NIST demonstraram que mesmo ventos moderados entrando por uma janela de uma edificação de grande altitude podem induzir grandes aumentos na temperatura e nos fluxos de calor no compartimento em que se iniciou o incêndio e concorrer para a dispersão de fumaça e gases quentes para os adjacentes.

O vento, como todos sabemos, é um excelente secador. Grandes temperaturas, baixas umidades relativas e ventos fortes são uma fórmula quase certa para incêndios florestais de grandes proporções. É importante reforçar que o investigador deve estar atento para levar em consideração as condições de vento, temperatura e outras condições ambientais que estavam presentes no momento do incêndio.

11.6.5 Concentração de Oxigênio

A maioria dos incêndios irá se dar em ambientes com concentrações normais de oxigênio no ar atmosférico, o qual já vimos que possui aproximadamente 21% de O₂. Concentrações menores do que 15% irão retardar a ignição e o crescimento do fogo. De acordo com Dehaan (2012), concentrações ainda menores, na faixa de 10%, tornarão a combustão com chamas impossível – exceto na fase pós flashover –, mas incêndios *smoldering* poderão se propagar com até 3% de oxigênio na atmosfera. Concentrações elevadas irão elevar drasticamente a capacidade de combustíveis se ignizarem, mesmo por fontes de ignição fracas.

A transição de incêndios sem a presença de chamas para com a presença de chamas é incrivelmente rápida em ambientes ricos em oxigênio. Dehaan (2012, p. 69) relata que houve o caso de um fumante que usava oxigênio suplementar descobriu da pior forma que mesmo a brasa de um cigarro poderia rapidamente induzir a ignição de roupas e roupas de cama, com consequências trágicas.

Capítulo 12: Avaliação da Temperatura de Incêndios

Objetivos

Ao final desta lição os alunos deverão ser capazes de:

1) Citar pelo menos três maneiras pelas quais se pode estimar a temperatura aproximada de um incêndio, de acordo com o que foi repassado na lição;

12 Avaliação da temperatura aproximada de incêndios

Os incêndios irão sempre fornecer informações valiosas para aqueles com conhecimento suficiente para reconhecer os sinais, sendo por isso de mais alta importância que um investigador de incêndio esteja capacitado para reconhecer os sinais na cena de um sinistro, seja durante sua ocorrência, seja após o fogo já ter sido extinto.

Antes de iniciarmos é importante ressaltar que as informações fornecidas a seguir são **indicativos** da temperatura dos incêndios, não devendo ser tomadas como verdade universal, e sim conjugadas com outros indícios encontrados na cena.

Para começar, os objetos quando aquecidos a determinado ponto (principalmente os metálicos) irão produzir uma luz incandescente. A cor desta luz irá variar de acordo com a temperatura aproximada, conforme se observa pela tabela abaixo.

Quadro 7: Cores de objetos incandescentes

COR	TEMPERATURA APROXIMADA (°C)
Vermelho escuro (primeiro brilho visível)	500 – 600
Vermelho pálido	600 – 800
Vermelho cereja brilhante	800 – 1000
Laranja	1000 – 1200
Amarelo brilhante	1200 – 1400
Branco	1400 – 1600

Fonte: Dehaan (2012)

Abaixo se encontra uma imagem mostrando um objeto incandescente brilhando. Você consegue estimar a temperatura?

Figura 59: Metal quente emite luz



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Hot_metalwork.jpg>. Acesso em 30 de agosto de 2015.

Outras vezes será necessário que o investigador saiba se um determinado foco inicial teria energia suficiente para ter começado um incêndio de grandes proporções, ou se deve procurar mais atentamente por sinais de acelerantes – que são substâncias adicionadas a uma cena intencionalmente para ajudar o fogo a se espalhar mais rápido e com mais vigor. Para isso é preciso que se conheça as taxas de liberação de calor de alguns incêndios típicos, conforme se observa abaixo.

Quadro 8: Taxa de liberação de calor de alguns focos típicos

INCÊNDIO	TAXA DE LIBERAÇÃO DE CALOR
Brasa de cigarro	5 W
Palito de fósforo ou isqueiro	50 W
Vela	50 – 80 W
Cesta de lixo com papéis	50 – 150 kW
Cadeira pequena com algum acolchoamento	150 – 250 kW
Cadeira com braços	350 – 750 kW (geralmente) podendo chegar até 1,2 MW
Cadeira reclinável (com acolchoamento)	500 – 1000 kW
Sofá	1 – 3 MW
Poça de gasolina	1 MW

Árvore de natal (seca, com 1,83 a 2,13 m)	1 – 2 MW (geralmente) podendo chegar até 5 MW
Sala de estar ou quarto completamente tomados por chamas	3 – 10 MW

Fonte: Dehaan (2012)

Além disso também é trazido por Daéid (2004) uma tabela com valores de taxas de liberação de calor de objetos comuns em residências. Consideramos importante o conhecimento destes valores pelo estudante, por isso reproduzimos abaixo a informação trazida pelo autor.

Quadro 9: Taxa de liberação de calor de alguns objetos comuns

ITEM	PICO DE LIBERAÇÃO DE CALOR (kW)
Cadeira estofada	150 – 700
Cesto de lixo (pequeno)	4 – 18
Sofá	250 – 3000
Colchão de algodão	40 – 970
Colchão de poliuretano	810 – 2630
Televisor	120 – 290
Árvore de natal	500 – 650
Estofamento de travesseiro	112
Armário (68 kg)	3500
Cortinas fechadas (algodão/poliéster)	267
Cortinas abertas (algodão/poliéster)	303
Prateleiras de madeira com fitas de vídeo	800
Cesta de lixo plástica com caixas vazias	13
Poça de petróleo com 0,61 m ²	400
Poça de 1,9 L de combustível de lamparina	900 – 1000

Fonte: Daéid (2004)

O uso de polímeros é cada vez mais comum pela indústria, seja em embalagens ou na própria composição de produtos, é quase impossível não encontrar nenhum tipo de plástico em qualquer lugar que vamos. Por isso é importante conhecer algumas propriedades de queima destes materiais.

Quadro 10: Características de queima de amostras de polímeros comuns

POLÍMERO	COR DA CHAMA	ODOR	OUTROS
Nylon	Azul com ponta amaralada	Lembra grama queimada	Tende a se auto extinguir;
Politetrafluoretileno	Amarela	Nenhum	Tem dificuldade em queimar
Cloreto de polivinila	Amarela com base verde	Ácido	Tende a se auto extinguir; fumaça ácida
Uréia-formaldeído	Amarelo pálido	Formaldeído com notas de peixe	Muito difícil de ignizar
Borracha de butila	Amarela, fumaçenta	Doce	Queima
Borracha de nitrila	Amarela, fumaçenta	Extremamente doce	Queima
Poliuretano	Amarela com base azul	Ácido	Queima facilmente
Borracha de silicone	Branco amarelada brilhante	Nenhum	Queima com fumaça branca; resíduo branco
Borracha de estireno-butadieno	Amarela, muito fumaçenta	Estireno	Queima
Plástico alquídico	Amarela, fumaçenta	Pungente	Queima facilmente
Poliéster (contém estireno)	Amarela, muito fumaçenta	Estireno	Queima
Polietileno	Amarela com base azul	Lembra o cheiro de cera de velas	Queima facilmente; transparente quando derretido
Polimetil metacrilato	Amarela	Característico	Queima
Polipropileno	Amarela com base azul	Lembra o cheiro de cera de velas	Queima facilmente; transparente quando derretido
Poliestireno	Amarela, base azul, muito fumaçenta	Estireno	Queima Facilmente

Fonte: Dehaan (2012)

Quadro 11: Temperaturas de ignição de polímeros

PLÁSTICO	TEMPERATURA MÍNIMA DE IGNIÇÃO (°C)
Poliuretano	488
Poliisocianato	525
Polimetil metacrilato	467
Polipropileno	498
Poliestireno	573
Politetrafluoroetileno	660

Forro de poliuretano (rígido)	456 – 579
Forro de Poliuretano (mole)	498 – 565
Cloreto de polivinila	507

Fonte: Dehaan (2012)

Quadro 12: Temperatura de fusão de alguns polímeros

MATERIAL	TEMPERATURA DE FUSÃO (°C)
Polietileno	130 – 135
Polipropileno	186
Polimetil metacrilato	160
Poliestireno	240
Poliacrilonitrila	317
Nylon 66	250 – 260

Fonte: Dehaan (2012)

Um outro indicador da temperatura alcançada dentro de determinado cômodo pode ser obtido por meio da coloração do concreto. As cores são as apresentadas abaixo.

Quadro 13: Cor do concreto de acordo com a temperatura alcançada

COR DO CONCRETO	TEMPERATURA (°C)
Cinza normal	0 – 300
Rosa	300 – 600
Cinza claro	Acima de 600

Fonte: Acordi, Biluk e Kirch (2014)

Abaixo apresentamos alguns materiais que são encontrados com frequência em cenas de incêndio e seus pontos de fusão, de modo que o investigador possa ter uma ideia do quão poderoso foi o sinistro a partir do que conseguiu fundir.

Quadro 14: Ponto de fusão de alguns materiais

MATERIAL	PONTO DE FUSÃO (°C)
Alumínio	600 – 670
Vidros	700 – 800
Cobre	1080
Aço	1300
Plásticos (em geral)	100 – 200
Bronze	875 – 980
Estanho	508,08
Chumbo	600,61
Zinco	692,73

Ouro	1337,33
Prata	1234,93

Fonte: Acordi, Biluk e Kirch (2014) e Dehaan (2012)

Dehaan (2012, p. 296) traz algumas precauções para o investigador de incêndios, conforme transcrito abaixo

Sempre que resíduos de metais forem encontrados na cena, eles podem ajudar a estabelecer qual era a temperatura mínima naquele ponto da estrutura. Embora esses metais derretidos não possam e não devam ser considerados como prova de um incêndio foi deliberadamente provocado, o investigador deve levar em consideração da presença, quantidade e distribuição. Essas informações podem ajudar a estabelecer diferenças entre temperaturas normalmente produzidas por incêndios acidentais com combustíveis e ventilação normal daqueles produzidos com cargas suspeitas de acelerantes químicos em incêndios deliberados.

Além disso, também é importante estar alerta ao que Acordi (2014, p. 38) tem a dizer

Além dos meios acima que são mais objetivos, também se deve considerar aspectos mais subjetivos como **a observação do efeito do fogo sobre rebocos, intensidade de combustão, combustão de materiais** nas variedades temperaturas de combustão e ignição, **efeitos de dilatação térmica**, etc. Convém também esclarecer que a maioria dos incêndios, atingem temperaturas de 500°C a 700°C e não ultrapassam 1200°C que só pode ocorrer em incêndios violentíssimos. Também o efeito do fogo no concreto e tijolo é importante, pois até uma temperatura no ambiente, dentro da faixa de incêndios comuns (normais), o concreto não se rompe nem perde resistência apreciável. O tijolo até 2000 °C não se deteriora e o aço começa a sofrer os efeitos mais significativos de dilatação, acima de 550 °C, na sua massa, pois perde sua resistência à tração.

De base dos conhecimentos transmitidos acima, e outros que o estudante venha a obter nas outras disciplinas deste curso, será possível que o investigador possa estimar com relativa precisão a temperatura dos incêndios em que for trabalhar a partir dos resíduos e vestígios deixados na cena.

Capítulo 13: Tipos de chamas

Objetivos

Ao final desta lição os alunos deverão ser capazes de:

- 1) Descrever, com suas palavras, o que é uma chama de difusão, de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar quais são as quatro regiões da região de turbulência e descrever suas características, conforme repassado na lição.

Dehaan (2012) afirma que a grande maioria das chamas que um investigador de incêndio se depara, são **chamas de difusão**. Chamas de difusão são aquelas em que os gases ou vapores que estão mantendo a reação de combustão difundem para fora da superfície do combustível e o oxigênio tende a se difundir para dentro do combustível.

Como já estudamos, para que uma reação de combustão aconteça é preciso que haja vapores inflamáveis numa mistura com um comburente – geralmente o oxigênio – e que haja uma energia externa para dar início ao processo. Mas para que ela se mantenha é necessário que um fluxo de combustível continue sendo injetado na reação. Dehaan (2012) afirma que esse fluxo é dependente do fluxo total de calor emitido em direção ao combustível, do calor latente de vaporização (caso seja um combustível líquido) ou do calor latente de gaseificação (caso seja um combustível sólido).

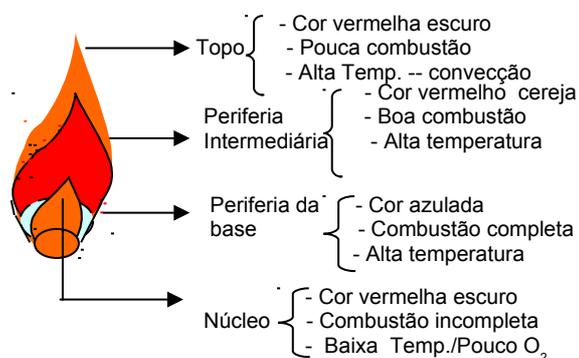
O supracitado autor continua dizendo que em combustões explosivas, os gases inflamáveis e o comburente são ignizados dando origem ao que se chama de **chama de pré mistura**. Como o próprio nome sugere, esta chama é aquela em que o combustível e o comburente estavam previamente misturados, “aguardando” a ignição.

Quando a chama é pequena como a de uma vela, Dehaan (2012) afirma que ela é chama de **chama laminar**, porque as zonas de maior concentração de combustível, dissociação, mistura e combustão estão muito bem definidas nas camadas que estão ao redor do pavio.

O fluxo de ar ao redor da chama é tal que cria um envelopamento que possibilita a manutenção de altas temperaturas ao redor da fonte de combustível da chama – ou seja, a cera da vela. Dehaan (2012) prossegue dizendo que em uma vela, a zona de alta temperatura permite que a combustão da fuligem, criada a partir da pirólise da cera, se processe a altas temperaturas. Isto faz com que, quando a fuligem consiga escapar das chamas, ela já terá sido quase que totalmente transformada em dióxido de carbono. Caso a chama fique muito grande a ponto de um fluxo apreciável de ar consiga ficar alimentando as chamas, ou se uma corrente de ar fizer com que o envelopamento de alta temperatura seja perturbado, haverá fuligem escapando da chama sem que tenha sido queimada. É por isso que vemos uma fumaça preta saindo da chama das velas quando uma corrente de ar as faz tremular.

Segundo Dehaan (2012) chamas perturbadas dessa forma são um indicativo que a combustão se tornou **turbulenta**. A **combustão turbulenta** é predominante na maioria dos incêndios e causa a tremulação tão característica nas chamas. Segundo Acordi, Biluk e Kirch (2014), essa região pode ser dividida, ainda, em quatro: periferia da base, núcleo, periferia intermediária e topo – cada uma delas apresentando características próprias, conforme a figura a seguir

Figura 60: Chama com suas zonas delimitadas



Fonte: Acordi, Biluk e Kirch (2014)

Na periferia da base teremos uma cor azulada, conforme é nas combustões completas e com altas temperaturas. O núcleo possui uma cor vermelha escura, se processa de maneira incompleta e tem uma temperatura baixa. A periferia intermediária possui cor vermelha cereja e possui altas temperaturas. Por fim, o topo: possui cor vermelha escura, mas a combustão não é de qualidade, uma vez que quase todos os

gases já queimaram nas outras regiões. No entanto a temperatura é alta devido ao processo de convecção.

Figura 61: Fuligem escapa da chama de uma vela



Fonte: Imagem disponível na internet. Disponível em:
<https://como.cheng.cam.ac.uk/pictures/sooting_flame.jpg>. Acessado em 10 de setembro de 2015.

Perceba na imagem acima como a corrente de vento quebrou o isolamento de alta temperatura da vela, permitindo que fuligem escapasse sem ter sido completamente queimada e transformada em CO_2 .

Capítulo 14 – Combustão Espontânea

Objetivos

Ao final deste capítulo os alunos serão capazes de:

- 1) Explicar como ocorre a combustão espontânea, com suas palavras e de acordo com o que foi repassado na lição;
- 2) Citar pelo menos dois exemplos de combustíveis que podem se auto aquecer ao ponto de se autocomburir, de acordo com o que foi repassado na lição.

14.1 Combustão Espontânea

Alguns combustíveis podem passar por um processo em que irão se aquecer espontaneamente, a tal taxa que, sua absorção de calor será maior do que a de liberação, fazendo com que a temperatura do material aumente e se acumule.

Segundo Aragão (2010, p. 210) combustão espontânea é o “[...] processo físico-químico através do qual determinados materiais se inflamam sem o concurso de uma chama ou faísca de ignição. O corpo absorve oxigênio do ar atmosférico ou de outros corpos e com isso se aquece de tal modo que é atingido o ponto de inflamação [...]”.

Aragão (2010) prossegue dizendo que nos casos de materiais sólidos, existem duas fatores que favorecem a combustão espontânea: a porosidade do material – a qual irá permitir que o oxigênio se difunda no material – e que eles produzam carvões rígidos quando estiverem em processo de decomposição térmica.

14.1.1 Características do autoaquecimento.

De acordo com Dehaan (2012, p. 207) há uma regra geral para o autoaquecimento: **a massa de material necessário para atingir a ignição é inversamente proporcional a sua reatividade, e o tempo necessário para atingir a ignição é diretamente proporcional a massa requerida.**

O supracitado autor ainda menciona que reações catalíticas precisam de pouco material, pois a reação é extremamente exotérmica e pode liberar calor suficiente em apenas alguns segundos; já a oxidação de óleos podem desencadear a reação em algumas horas e necessitam apenas de 25 a 50 ml do produto. Para o autoaquecimento do carvão ativado são necessários alguns quilos e um tempo que pode ir de várias horas a alguns dias.

Quanto maior for a temperatura inicial do material, menos é preciso esperar para que a autoignição ocorra. Dehaan (2012) relata que roupas de algodão que saíram da secadora de roupas já se autoignizaram apenas algumas horas depois.

Aragão (2010, p. 211) traz em sua obra algumas condições necessárias para que uma combustão espontânea ocorra, são elas: o material deve ter a tendência para a combustão espontânea; o material tem que oferecer uma grande superfície relativa para permitir a adequada e suficiente absorção de oxigênio; as condições de armazenamento devem ser de forma a impedir a dissipação do calor; por fim, o material deve ter baixo ponto de inflamação.

Passemos agora a falar um pouco sobre o autoaquecimento em óleos.

14.1.2 Autoaquecimento em óleos

Segundo Dehaan (2012) os óleos são o produto mais comum encontrado em residências que pode entrar em um processo de autoignição. Alguns exemplos são o óleo de linhaça, de peixe e de soja. Óleos deste tipo sofrem um endurecimento devido a oxidação das ligações duplas dos ácidos graxos contidos nos óleos, principalmente no ácido linolénico.

A medida que estes óleos vão se oxidando, um polímero vai se formando, como uma camada de um plástico natural. De acordo com Dehaan (2012), o processo de oxidação é dependente do oxigênio e gera calor, mas a taxa de geração deste calor irá ser influenciada pela quantidade de óleo que reage com ar atmosférico. Uma determinada quantidade de óleo de linhaça não irá se autoaquecer a níveis apreciáveis em uma lata, mas se essa mesma quantidade for espalhada em um substrato poroso como uma roupa de algodão, então poderá haver condições para uma oxidação rápida e consequente aquecimento. Caso o calor consiga ser concentrado – vale dizer, não consiga se dissipar com facilidade -, mas sem impedir o fluxo de mais oxigênio, a reação irá ser ainda mais rápida.

Dehaan (2012) ainda menciona que o óleo de linhaça cru produz o efeito do autoaquecimento, mas raramente irá se autoignizar pois ele contém ácidos oleico e linoleico – os quais não são tão reativos quanto o linolénico. No entanto, o óleo de linhaça fervido – como um processo para concentrar os ácidos insaturados – poderá fazer com que trapos de roupa consigam entrar em ignição em poucas horas.

O supracitado autor ainda traz que a autoignição não ocorre em óleos lubrificantes e **quase nunca** ocorre em óleos usados na gastronomia – como o óleo de amendoim, milho, oliva e canola. A exceção trazida é a de se estes óleos estiverem embebidos em um material poroso e forem expostos a altas temperaturas.

Novamente citamos Dehaan (2012) pois ele traz que a reatividade de um óleo em entrar em ignição pode ser medido pelo número iodino³⁴. Apesar de haver exceções, quanto maior é o número iodino mais suscetível será o óleo à autoignição. O óleo de linhaça possui um valor que varia de 173 a 201; óleo de soja um valor que varia de 137 a 143; óleo de algodão um valor que vai de 108 a 110; o óleo de milho um valor que varia de 111 a 130; e por fim, o óleo de amendoim um valor que vai de 85 a 105.

³⁴Iodine number, no original

Figura 62: Trapos embebidos com óleo de linhaça entram em ignição



Fonte: Dehaan (2012)

A figura acima mostra as marcas causados pelo autoaquecimento de óleo de linhaça em um trapo; na imagem abaixo vemos a fumaça que ocorre devido a combustão *smoldering* causada por este autoaquecimento; e finalmente, na última imagem, as chamas alimentadas pelo oxigênio atmosférico quando os trapos são colocados em um ambiente aberto.

14.1.3 Outros materiais sujeitos ao autoaquecimento

Dehaan (2012) traz como exemplo de outros materiais sujeitos ao autoaquecimento o carvão recém retirado das minas, pois muitas vezes este material fica em grandes pilhas em áreas de espera e a umidade é um fator preponderante no autoaquecimento deste material. No entanto, a reação da umidade com o carvão é extremamente lenta e geralmente o calor consegue se dissipar mais rápido do que consegue ser gerado.

Já Aragão (2010) traz como exemplos os elementos FeS, FeS₂ e Fe₂S₃, os quais são formados em tanques de armazenamento de petróleo e que são capazes de se autocomburirem se entrarem em contato com o oxigênio atmosférico.

Aragão (2010) continua trazendo outros exemplos: o fósforo branco, que possui a propriedade de entrar em combustão quando em contato com o oxigênio; o pó de alumínio, magnésio e zinco que infamam-se na presença da umidade atmosférica; e também a reação da cal viva com a água, que possui a reação química apresentada abaixo



O calor gerado por esta reação é suficiente para induzir a ignição de materiais combustíveis próximos de onde a cal viva está se misturando com a água.

REFERÊNCIAS

ACORDI, Charles Fabiano; BILUK, Edson Luiz; KIRCH, Luiz Henrique. **Curso de Inspectores de Incêndio**: Curso de Formação de Sargentos. Florianópolis: 2014. Apostila.

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. **Incêndios e explosivos**: uma introdução à engenharia forense. São Paulo: Millenium, 2010.

CARDOSO, Luiz Antônio. **Prevenção de Incêndios**: uma retrospectiva dos primeiros anos de atividades técnicas em Santa Catarina. Florianópolis: Papa-Livro, 2014.

DAEID, Niamh Nic. **Fire Investigation**. Florida: CRC Press, 2004.

DEHAAN, John D. Kirk's Fire Investigation. 7a edição. Vallejo, California – USA: Peson Prentice Hall, 2012.

FLATLEY, Christopher. Flashover and Backdraft: A primer. **Fire Engineering**, 03 de janeiro de 2005. Disponível em:
<<http://www.fireengineering.com/articles/2005/03/flashover-and-backdraft-a-primer.html>>.
Acessado em 09 de setembro de 2015.

LAPORT, Gabriela C. P. **Análise experimental do fenômeno de *boilover* em hidrocarbonetos**. 2015. 143 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

MAUS, Álvaro. **Segurança contra sinistros**: Teoria geral. Florianópolis: Editograf, 2006.

OLIVEIRA, Marcos de. **Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural** – Comando e controle em operações de incêndio. Florianópolis: Editograf, 2005.

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. São Paulo: Makron Books, 2004.

SANTA CATARINA. Corpo de Bombeiros Militar. DtzPOP nº 002/Comdo G CBMSC/2204. **Diretriz de Procedimento Permanente sobre o serviço de Perícia de Incêndio e Explosões**. Florianópolis, 2004.

SARTE, Anderson Medeiros. **Perícia de Incêndio**: uma abordagem sobre a coleta de amostras sólidas e líquidas em edificações sinistradas pelo fogo. 2009. 117 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Gestão de Emergências). Universidade do Vale do Itajaí – Univali, Santa Catarina, 2009.

SOLOMONS, T.W. Grahan. **Química Orgânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VIDAL, Vanderlei Vanderlino. **Cromatografia na perícia de incêndios**: técnicas para detecção de agentes acelerantes. 2007. 65 f. Monografia (especialização *Lato Sensu em Segurança Pública*) – Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Santa Catarina, 2007.

APÊNDICE III – Entrevista com o Sr. Tenente-coronel Vanderlino

Cadete Albuquerque: O que o senhor acha do material utilizado atualmente para a formação dos Inspetores de Incêndio?

Coronel Vanderlino: Ele é um material que foi feito em um determinado período, e para o que precisávamos ele estava bom. Mas ele precisa sim passar para uma atualização e uma readequação.

Cadete Albuquerque: O senhor acha que este material seria adequado e suficiente para a formação de Peritos de Incêndio? Caso negativo o que mudaria?

Coronel Vanderlino: Não, não, ele não é adequado. Eu mudaria o foco em cima da NFPA 921 e em cima do manual que orienta o ensino baseado na NFPA 921.

Cadete Albuquerque: Que importância o senhor dá ao estudo do incêndio pelos peritos e Inspetores da Corporação?

Coronel Vanderlino: É da maior importância, pois é a investigação de incêndio que irá realizar o fechamento do ciclo operacional da corporação.

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Perícia do CBMSC? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Vanderlino: Eu mudaria algumas coisas: eu retiraria o assunto Carga de Fogo dos PUDs de peritos; eu acrescentaria no PUD do Curso de Peritos de Incêndio a NBR 9442; acrescentaria o assunto Avaliação da Temperatura de Incêndios e Transferência de calor x relação superfície/massa e efeitos na propagação de incêndios; adicionaria aulas práticas aos assuntos teóricos; adicionaria que é preciso falar sobre a oxidação de óleos vegetais; adicionaria um capítulo sobre a propagação das chamas através dos elementos de construção; correlacionaria o máximo possível com o livro *Introduction to Fire Dynamics*; retiraria o capítulo referente as formas de transmissão de calor; e por fim, incluir os itens que tratam sobre “propagação de chamas sobre líquidos”, “propagação de chamas sobre sólidos”, “comportamento do fogo totalmente desenvolvido”, “temperaturas alcançadas em incêndios totalmente desenvolvidos”, “resistência ao fogo e severidade do fogo” e “propagação das chamas de um compartimento” do livro *Introduction to Fire Dynamics*.

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Inspetores de Incêndio? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Vanderlino: Eu retiraria o assunto Carga de Fogo do PUD dos inspetores de incêndio; adicionar os assuntos “Avaliação da Temperatura de Incêndios” e “Transferência

de calor x relação superfície/massa e efeitos na propagação de incêndios” no PUD dos inspetores; adicionar um capítulo referente a aulas práticas de laboratório; adicionaria um item que trate sobre a propagação do fogo através dos elementos de construção; retiraria o capítulo que fala sobre as formas de transmissão de calor;

APÊNDICE IV – Entrevista com o Sr. Tenente Coronel Henrique

Cadete Albuquerque: O que o senhor acha do material utilizado atualmente para a formação dos Inspetores de Incêndio?

Coronel Henrique: Ele não é bom. Ele foi um material feito em grande parte em cima do curso que fizemos em Brasília, por isso poderia ser melhor formatado para o bombeiro catarinense.

Cadete Albuquerque: O senhor acha que este material seria adequado e suficiente para a formação de Peritos de Incêndio? Caso negativo o que mudaria?

Coronel Henrique: Adequado eu poderia até dizer que é, mas ele poderia ser muito melhorado, porque a ciência evolui constantemente e não só novas descobertas a gente, mas a própria experiência nas perícias reais nos dão base para que novos assuntos sejam incluídos e outros sejam excluídos.

Cadete Albuquerque: Que importância o senhor dá ao estudo do incêndio pelos peritos e Inspetores da Corporação?

Coronel Henrique: É muito importante. Os peritos e inspetores fazem um trabalho que vai muito além de descobrir as causas do fogo, a atuação dos peritos é também a de saber como foi o comportamento das equipes operacionais e saber até que ponto um sistema de proteção contra incêndios é efetivo, entre muitos outros.

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Perícia do CBMSC? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Henrique: Eu manteria as matérias que já foram lecionadas no CFO, mas com carga horária reduzida; adicionar um item falando sobre as relações termodinâmicas de isotermia, isobaria e isovolumetria no PUD de perito; adicionaria, no capítulo referente a fenômenos comuns em incêndios, o *Boil over* e do *BLEVE* no PUD de perito; adicionaria um item que trate sobre os efeitos das aberturas nos incêndios; no capítulo referente a combustíveis, tratar sobre a influência do receptáculo onde está contido; no capítulo que trata sobre os combustíveis sólidos, adicionar os itens referentes a cereais e derivados da borracha; adicionaria um capítulo referente à combustão espontânea no PUD dos peritos; trataria sobre os oxidantes no PUD dos peritos; incluiria práticas laboratoriais na apostila de Ciência do Fogo; e adicionar um capítulo que tratasse sobre a detecção de incêndios criminosos no PUD do perito.

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Inspetores de Incêndio? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Henrique: Eu manteria as matérias que já foram lecionadas no CFSd, mas com carga horária reduzida; adicionaria um item falando sobre as relações termodinâmicas de isotermia, isobaria e isovolumetria no PUD dos Inspetores; adicionaria, no capítulo referente a fenômenos comuns em incêndios, o Boil over e do BLEVE no PUD dos inspetores; adicionaria um item que se trate sobre os efeitos das aberturas nos incêndios; no capítulo referente a combustíveis, tratar sobre a influência do receptáculo onde está contido.

APÊNDICE V – Entrevista com o Sr. Tenente Coronel Biluk

Cadete Albuquerque: O que o senhor acha do material utilizado atualmente para a formação dos Inspetores de Incêndio?

Coronel Biluk: As apostilas estão defasadas e podem ser melhoradas em relação a didática para a melhor compreensão dos alunos.

Cadete Albuquerque: O senhor acha que este material seria adequado e suficiente para a formação de Peritos de Incêndio? Caso negativo o que mudaria?

Coronel Biluk Se fosse atendido o item 1, com certeza é adequado.

Cadete Albuquerque: Que importância o senhor dá ao estudo do incêndio pelos peritos e Inspetores da Corporação?

Coronel Biluk: É de suma importância para completar o nosso ciclo operacional; Porém temos que repensar em alguns critérios hoje utilizados como por exemplo:

a) No curso de formação de sargentos é obrigatório esta disciplina para todos saírem com inspetores de incêndio;

1) Porém, o que percebo é que a grande maioria deles não atua na atividade após a formação por diversos fatores, o principal é a falta de afinidade para o desempenho da atividade;

2) Muitos relatam após o curso que as aulas ministradas por alguns instrutores criaram "pânico", ou posso dizer "trauma": muito material repassado e avaliações sem um objetivo claro;

b) Nos cursos de formação de soldados, muitos deles possuem capacitações técnicas que poderiam ajudar na realização dos informes como por exemplo, formação em eletrotécnico, química e física;

1) alguns soldados tem interesse em realizar o curso e atuar na área por justamente ter afinidade na atividade;

2) Porém, será que estamos preparados para atribuir ao soldado a missão de investigação de incêndios deixando de lado os sargentos e ST?

c) Muitas OBM, devido a diretriz do comando geral, repassam este serviço para quase todos os BM que possuem o curso, onde, em batalhões, companhias, pelotões e GBM tem alguém capacitado;

1) Devido a falta de afinidade, efetivo e outras atribuições, a realização dos informes deixa a desejar em questão de qualidade;

2) Muitos oficiais, responsáveis por fiscalizar os informes, devido a afinidade e outras atribuições, não realizam esta fiscalização a contento.

d) Seria uma alternativa, neste caso, ao invés de terem vários BM numa OBM realizando esta atividade, restringir numa só equipe que pudesse, em caso de incêndio, deslocar para a realização da investigação?

1) Ou seja, capacitar 04 BM da área do batalhão e inserir nas escalas de serviço da suas respectiva OBM/GBM; No caso de acionamento, aquele que estiver de serviço no dia iria

para o local. Assim, no meu ponto de vista, teríamos uma maior qualidade na prestação desta atividade que importante para a corporação.

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Perícia do CBMSC? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Biluk: Incluir a disciplina de eletricidade básica, onde eles teriam o conhecimento sobre dimensionamento de sistemas elétricos (circuitos, fiação, aterramento e instalações elétricas).

Cadete Albuquerque: O que o senhor, com a experiência que tem e com a formação na Academia de Brasília, acha desta Proposta de Programa de Unidades Didáticas para o curso de Inspetores de Incêndio? Adicionaria, retiraria ou de qualquer forma alteraria alguma coisa?

Coronel Biluk: Novamente reitero uma revisão nas apostilas e definição do que aplicar nas aulas para evitar o trauma que muitos relatam.