

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

**DIOGO BATTAGLIN**

**COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL: INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DO  
TERRENO NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO**

**FLORIANÓPOLIS**  
**SETEMBRO 2012**

**Diogo Battaglin**

**Combate a Incêndio Florestal: Influência da inclinação do terreno na propagação do incêndio em condições de laboratório**

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

**Orientador: Cap BM Walter Parizotto**

**Florianópolis  
Setembro 2012**

Diogo Battaglin

Combate a Incêndio Florestal: Influência da inclinação do terreno na propagação do incêndio em condições de laboratório.

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

Florianópolis (SC), 03 de Setembro de 2012.

---

Prof. MSc. Walter Parizotto – Cap BM  
Orientador

---

Prof. Esp. Jeferson de Souza – Cap BM  
Membro da Banca Examinadora

---

Prof. Esp. Diego Sommer Thiesen Alves – 1º Ten BM  
Membro da Banca Examinadora

“O problema não é o problema – o problema é a atitude com relação ao problema.”

(Kelly Young)

## RESUMO

O presente trabalho tem com objetivo abordar o estudo sobre a influência da inclinação do terreno na propagação de incêndios florestais de superfície. Para atingir o objetivo partiu-se dos conceitos e fatores que envolvem a dinâmica do fogo desde a sua origem até a análise de fatores que influenciam no seu desenvolvimento e propagação. Para a obtenção dos dados foi realizado teste experimental em laboratório específico da área em um Centro de Treinamento do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina localizado no município de Xanxerê-SC. Tal experimento possibilitou identificar os efeitos da inclinação do terreno na propagação do fogo levando em consideração a velocidade de propagação, o comprimento das chamas e a intensidade do fogo. Na conclusão, denota-se os resultados obtidos além de chamar a atenção para a implantação de povoamento de reflorestamento em região de aclave, incentivar o investimento em planos preventivos e de combate a incêndio florestal.

**Palavras-chave:** Incêndio florestal. Comportamento do fogo. Propagação.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Ponto de combustão .....  | 19 |
| Figura 2 – Ponto de fulgor.....  | 19 |
| Figura 3 – Ponto de ignição.....   | 20 |
| Figura 4 – Classificação dos incêndios florestais.....   | 27 |
| Figura 5 – Configuração e partes de um incêndio florestal de superfície .....                                  | 28 |
| Quadro 1 – Nível de Propagação dos Incêndios em função do tipo de formação vegetal .....                       | 32 |
| Figura 6 – Propagação em função do vento .....   | 39 |
| Quadro 2 – Proporções de um incêndio baseado na relação comprimento das chamas com a intensidade do fogo ..... | 47 |
| Figura 7 – Identificação do comprimento, altura e profundidade da chama.....                                   | 47 |
| Figura 8 – Plataforma de queima .....  | 49 |
| Figura 9 – Preparação da plataforma de queima e da “cama” de material combustível .....                        | 51 |
| Figura 10 – Simulação com inclinação de 0° .....   | 53 |
| Figura 11 – Simulação com inclinação de 22,5° .....  | 53 |
| Figura 12 – Simulação com inclinação de 45° .....  | 54 |
| Gráfico 1 – Tempo de propagação do fogo (min).....   | 56 |
| Gráfico 2 – Velocidade de propagação ( $m \cdot min^{-1}$ ).....   | 56 |
| Gráfico 3 – Comprimento da chama (m) .....   | 57 |
| Gráfico 4 – Intensidade do fogo ( $kcal \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ) .....                                     | 57 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |           |
|--|-----------|
| Tabela 1 – Classe de material combustível e tempo de resposta .....  | <b>33</b> |
| Tabela 2 – Tabela de umidade relativa do ar e fator de propagação das chamas.....                          | <b>38</b> |
| Tabela 3 – Fator de propagação a ser utilizado no cálculo da velocidade de propagação do<br>incêndio ..... | <b>43</b> |
| Tabela 4 – Classificação da velocidade de propagação do fogo .....   | <b>45</b> |
| Tabela 5 – Descrição do experimento .....  | <b>51</b> |
| Tabela 6 – Resultados dos 3 ensaios laboratoriais .....  | <b>55</b> |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 12 |
| 1.1 OBJETIVOS.....  | 14 |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....  | 14 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....  | 14 |
| 1.2 METODOLOGIA .....   | 15 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....  | 15 |
| <b>2 INCENDIO FLORESTAL</b> .....   | 17 |
| 2.1 O FOGO .....  | 17 |
| 2.1.1 Ponto de combustão .....  | 19 |
| 2.1.2 Ponto de fulgor .....   | 19 |
| 2.1.3 Ponto de ignição.....   | 19 |
| 2.2 INCÊNDIO FLORESTAL.....   | 20 |
| 2.3 QUEIMA CONTROLADA .....   | 20 |
| 2.4 FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....                                  | 21 |
| 2.4.1 Convecção .....   | 21 |
| 2.4.2 Radiação.....   | 22 |
| 2.4.3 Condução.....   | 22 |
| 2.5 PRINCIPAIS CAUSAS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS .....                        | 22 |
| 2.6 FASES DA COMBUSTÃO NOS VEGETAIS EM UM INCÊNDIO FLORESTAL .....          | 23 |
| 2.6.1 Pré-aquecimento.....  | 23 |
| 2.6.2 Destilação ou combustão dos gases .....                               | 24 |
| 2.6.3 Incandescência ou consumo do carvão.....                              | 24 |
| 2.7 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS .....                            | 24 |
| 2.7.1 Incêndio florestal de superfície ou incêndio rasteiro .....           | 25 |
| 2.7.2 Incêndio florestal de copa .....                                      | 25 |
| 2.7.3 Incêndio florestal subterrâneo .....                                  | 26 |
| 2.7.4 Incêndio total .....  | 26 |
| 2.8 CONFIGURAÇÃO E PARTES DO INCÊNDIO FLORESTAL DE SUPERFÍCIE .....         | 27 |
| <b>3 COMPORTAMENTO DO FOGO NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE SUPERFÍCIE</b> ..... | 29 |
| 3.1 QUANTO AO COMBUSTÍVEL.....  | 30 |
| 3.1.1 Quantidade de material combustível.....                               | 30 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1.2 Tipo de vegetação .....</b>  | <b>30</b> |
| 3.1.2.1 Umidade do combustível.....   | 32        |
| 3.1.2.2 Densidade do combustível .....  | 33        |
| 3.1.2.3 Compactação .....   | 33        |
| 3.1.2.4 Continuidade do combustível.....  | 34        |
| 3.1.2.5 Substâncias químicas.....   | 34        |
| 3.1.2.6 Tamanho e forma do combustível.....   | 35        |
| <b>3.2 QUANTO A METEOROLOGIA .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.2.1 Temperatura .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>3.2.2 Umidade relativa do ar .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3.2.3 Vento.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.2.4 Precipitação.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.2.5 Radiação .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.3 QUANTO A TOPOGRAFIA.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.3.1 Inclinação .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>3.3.2 Elevação.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.3.3 Exposição.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>3.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.5 INTENSIDADE DO FOGO.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>3.6 COMPRIMENTO DAS CHAMAS .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>   | <b>48</b> |
| <b>4.1 CARACTERÍSTICAS DO LABORATÓRIO .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>4.2 PROCESSO METODOLÓGICO .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>4.2.1 Coleta e preparo do material combustível .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.2.2 Materiais utilizados nos ensaios .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.2.3 Descrição do experimento.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>4.3 MÉTODO UTILIZADO PARA VERIFICAR A INTERFERÊNCIA DA INCLINAÇÃO<br/>DO TERRENO NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO FLORESTAL .....</b> | <b>51</b> |
| <b>4.4 RESULTADOS .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>4.4.1 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 0° .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>4.4.2 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 22,5° .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>4.4.3 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 45° .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4.4.4 Comparativo e análise dos dados obtidos .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>  | <b>60</b> |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>62</b> |
|--------------------------|-----------|

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização do fogo é uma prática antiga, utilizada pelos povos indígenas para caça e para preparo do terreno para plantio. Ainda nos dias de hoje o homem utiliza o fogo para diversas atividades agrícolas como a queima controlada, utilizada para renovação de pastagens, limpeza de restos de cultura, controle de pragas agrícolas, para plantio agrícola ou florestal ou para controle de combustíveis em silvicultura. A queima controlada ou prescrita é utilizada como forma de manejar os recursos silvo-agro-pastoris, aproveitando seu baixo custo (BRASIL, [2008?]). Apesar das vantagens, isto deve ser levado a efeito através de um plano cuidadosamente preparado e executado pelos riscos que apresenta e, sempre que possível à queima controlada deve ser substituída por alternativas que evitem o uso de fogo.

Quando o fogo se propaga sem controle, ocorre o que se entende por incêndio. Quando este fogo afeta a vegetação que cobre áreas florestais, origina-se um incêndio florestal que caso encontre condições apropriadas para se expandir, pode percorrer extensas áreas produzindo graves danos a vegetação, fauna e flora, além de causar graves perdas ecológicas, econômicas e sociais.

Os danos ou os efeitos dos incêndios florestais e os acarretados pelo uso do fogo podem ser diretos e indiretos. Como exemplos de danos diretos podemos citar a destruição de florestas, perda da fertilidade dos solos, poluição atmosférica e das águas, perda de patrimônio, paralisação de aeroportos, prejuízos com desligamento das linhas de transmissão de energia elétrica, podendo também, causar a perda de vidas humanas. Os danos indiretos muitas vezes são sutis e de difícil percepção como é o caso do aumento da mortalidade de árvores, o aumento da mortalidade de animais que ficam sem alimentos ou abrigo e o aquecimento global, consequência do aumento do Efeito Estufa (BRASIL, [2008?], p. 3).

São desmedidos os danos provocados pelo fogo no mundo anualmente. Os incêndios provocados por ação humana direta ou não, geram grandes perdas tanto financeiras como humanas, além de provocar a destruição de áreas naturais que levam longo tempo para regenerar-se. Vários países já contam com uma reserva de verbas especialmente destinada para o amparo em caso de incêndio florestal através de investimento em hidroaviões, helicópteros, barreiras de contenção contra incêndio e brigadas especializadas.

Conforme o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2006), a ocorrência de incêndios florestais em todo o mundo é uma realidade. A perda de florestas por ocasião do fogo tem-se registrado de maneira generalizada e inquietante. A destruição do meio ambiente causada pela poluição dos rios, as grandes inundações provocadas pelos desmatamentos e as terraplanagens não são menos destruidoras do que os incêndios florestais. Esses fatores favorecem o desequilíbrio do clima, proporciona aridez do

terreno, mudança na frequência das chuvas, além das perdas materiais causadas por estes sinistros, durante um único ano esses incêndios podem, dependendo da sua intensidade, superar o consumo de madeira em dez anos em um país. A mata assegura a normalidade da circulação da água, a estabilidade do clima e a fertilidade dos campos agrícolas.

Além dos danos à vegetação, à fauna, ao solo e ao ar atmosférico, os incêndios podem danificar outras propriedades tais como casas, construções, veículos e equipamentos diversos. Porém, o que mais preocupa são os danos causados à vida humana, os quais podem não somente estar representado por graves ferimentos, como também pela morte de pessoas, envolvidas ou não no combate ao fogo (VIEIRA, 2011, p. 15).

Para evitar essas perdas, é preciso estabelecer uma série de medidas preventivas e de combate a incêndio florestal, mas para isso se tornar eficiente é necessário conhecer as características do fogo, bem como as características que determinam o seu comportamento.

Conforme o estudo realizado por Nunes (2005), a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associados às condições climáticas ou fatores climáticos. Para se determinar a intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados, entre outros fatores: à umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. A utilização de dados meteorológicos e climatológicos precisos é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais.

Além disso, a topografia de uma área atingida pelo incêndio também influencia a propagação do fogo. Conforme o manual de prevenção e combate a incêndios florestais, a topografia do terreno afeta o meio ambiente do incêndio por alterar os processos normais de transmissão de calor e influenciar nas modificações do clima local, influenciando no tipo de vegetação e combustível. Pode-se dizer que resulta em micro climas com condições de umidade localizadas e específicas (CORPO DE BOMBEIROS DA POLICIA MILITAR DO PARANÁ, 2010).

Um incêndio florestal possui a particularidade de sofrer influência de diversos fatores tanto internos como externos, desde seu início, propagação até a extinção. Este trabalho procura responder questões de fundamental importância ampliando os conhecimentos especialmente dos agentes que trabalham diretamente nas atividades de prevenção e combate a incêndios florestais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC). As principais questões são:

a) quais as definições, características, classificações e configurações de um incêndio florestal?

b) de que modo as variáveis (tipo e quantidade de combustível, meteorologia e a topografia), condicionam e interferem na ignição e propagação de um incêndio florestal?

E de forma especial, realizando experiência prática, este trabalho busca resolver a seguinte questão: **Qual a influência das variáveis velocidade de propagação, comprimento da chama e intensidade do fogo na propagação do fogo em active?**

Através destes questionamentos busca-se fornecer informações que possam permitir conhecer e qualificar este tipo de desastre, oferecendo subsídios parciais para que se possa estabelecer uma política racional de prevenção e combate, pois, pela complexidade e dificuldade de ser combatido. Que as respostas e resultados alcançados neste trabalho possam ser um meio a mais de se obter conhecimentos além da experiência das guarnições.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa proporcionar informações acerca da influência da inclinação do terreno na propagação de incêndios florestais, oferecendo subsídios para elaboração de planos de prevenção e de ação de combate por parte das Brigadas de Incêndio e do próprio Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Definir incêndio florestal, as suas características, classificação bem como formas de configuração e partes de um incêndio florestal;
- b) Reunir conhecimento teórico sobre o comportamento do fogo e as variáveis que influenciam na propagação do incêndio;
- c) Demonstrar, coletar dados e comparar a influência da inclinação do terreno na propagação do fogo através de ensaios laboratoriais.

## 1.2 METODOLOGIA

Levando em consideração o referencial teórico para dar suporte ao alcance dos objetivos, tem-se a pesquisa bibliográfica que segundo Lakatos e Marconi (2010, p. 57) “[...] abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudos, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc. [...]”

Quanto à classificação dos objetivos, o trabalho apresenta as características de uma pesquisa explicativas. Que segundo Gil (2002), essas pesquisas tem como preocupação principal identificar fatores que produzem ou colaboram para que um fenômeno aconteça, sendo o tipo de pesquisa que mais aproxima o conhecimento da realidade explicando a razão, o porquê das coisas.

Para a efetivação desta pesquisa um dos meios utilizados será o computador com acesso a internet, através de sites de busca que nos dias de hoje contribuem permitindo acesso a informações sem limites de distância, além de livros, revistas, manuais, dissertações, teses em bibliotecas no município de Florianópolis-SC e em São Miguel do Oeste-SC.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Organizado em 4 seções, composto por introdução, desenvolvimento, materiais e métodos e considerações finais.

Na introdução relata-se a importância e vantagens da utilização do fogo quando utilizado de forma controlada, bem como os prejuízos a fauna e flora quando se propaga sem controle. E a partir disso, percebe-se a problemática da necessidade de conhecimentos específicos sobre algumas variáveis que influem na propagação do fogo, e podem vir a auxiliar no *modus operandi* da prevenção e combate.

Quanto ao desenvolvimento, dividiu-se em 2 capítulos, sendo que o primeiro trata de conceitos e características de incêndio florestal. O segundo discorre sobre o comportamento do fogo e a influência de fatores internos e externos na propagação de um incêndio florestal.

Na terceira parte, faz-se abordagem aos materiais e métodos utilizados na experiência prática do estudo sobre a influência da inclinação do terreno na propagação do fogo em condições de laboratório.

Nas considerações finais apresentam-se os resultados obtidos e comparados acerca do trabalho, apontando as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 INCENDIO FLORESTAL

Os efeitos ecológicos resultantes de incêndios nas florestas no Brasil alcançam escalas a nível mundial, pois influenciam a composição química da atmosfera e alteram drasticamente as proporções das superfícies preservadas. Entre eles estão às mudanças na biomassa e no estoque de nutrientes, as alterações do ciclo hidrológico e a redução no número de espécies de grupos animais e de plantas nativas. Os incêndios também podem afetar os padrões do clima em proporções regionais – pela sua influência na precipitação; e global – pela sua influência na composição química da atmosfera e no balanço de energia. E o mais importante, o fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens amazônicas, iniciando um ciclo de retroalimentação positiva, pelo qual as florestas tropicais são gradualmente substituídas por uma vegetação suscetível ao fogo. A importância ecológica do fogo é um produto da extensão atingida pelos diferentes tipos de incêndios e do impacto por área queimada. Em uma avaliação integrada desses fatores, nota-se que as queimadas para desmatamento e os incêndios florestais superficiais têm uma importância ecológica muito maior, comparado aos fogos em terra desmatada (PHILIPP, 2007).

Para se elaborar um programa ou técnicas de combate a incêndio florestal, é preciso ter clareza sobre alguns conceitos importantes acerca das ações de manejo do fogo. Um deles é a definição de fogo, outro refere-se ao conceito de incêndio florestal, e outro aspecto diz respeito a definição e explicação de queima controlada. Os três conceitos possuem características tênues e, por esse motivo, podem causar confusão.

### 2.1 O FOGO

Para Soares (1985), fogo, de modo geral, é o termo aplicado ao fenômeno físico resultante da rápida combinação entre o oxigênio e uma substância qualquer (madeira por exemplo), com produção de calor, luz e, geralmente, chamas. Acrescentando ainda, fogo, ou mais precisamente combustão é, portanto, uma reação química de oxidação. Corroborando Philipp (2007), define este processo como quimicamente idêntico ao de formação de ferrugem em um pedaço de ferro ou a decomposição da madeira, apenas mais rápido.

Segundo Lemos et al. (2010), fogo é o termo aplicado ao resultado de uma reação química de oxidação que ocorre em alta velocidade e com liberação calórica e luminosa, proveniente da combinação entre o oxigênio, combustível e uma fonte de calor.

Resume-se que, três componentes são necessários para que se origine ou haja fogo, sendo a transformação do combustível pela oxidação que em contato com o comburente e determinada temperatura de ignição libera calor e luz. E para que a combustão ocorra de modo autossustentável entra um quarto fator, a *reação em cadeia*, onde, segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (2008), a queima propicia a formação de produtos intermediários instáveis, principalmente radicais livres, prontos a se combinarem com outros elementos dando origem a novos radicais, e é entre estes radicais livres que ocorre a transferência da energia necessária à transformação da energia química em calorífica, decompondo as moléculas ainda intactas e, desta vez, provocando a propagação do fogo numa verdadeira cadeia de reação.

Motta (2008 apud VIEIRA, 2011), resume os componentes do fogo da seguinte forma:

- a) combustível – todo material suscetível de entrar em combustão (madeira, papel, pano, estopa, tinta, alguns metais, etc.);
- b) comburente – elemento que associado quimicamente ao combustível, é capaz de fazê-lo entrar em combustão (sendo o oxigênio o principal comburente);
- c) calor (temperatura de ignição) – é o calor necessário para iniciar e continuar o processo de queima, ou seja, é a temperatura acima da qual um combustível pode queimar.

De acordo com Schumacher, Brun e Calil (2005), a inter-relação entre os três elementos básicos da combustão é conhecida como “triângulo do fogo”. Caso ocorra ausência ou redução abaixo de certos níveis, de qualquer um dos componentes do triângulo do fogo o processo de combustão não acontece. E quando calor é aplicado a uma substância líquida ou sólida, as moléculas se movem mais rapidamente dentro da própria substância, ocorrendo que, quanto mais calor é aplicado, algumas dessas moléculas se desprendem para formar vapor ou gás. Caso exista calor suficiente, esse vapor converte-se em chamas.

A combustão de um vegetal requer um processo prévio de decomposição química mediante calor, e este processo se chama pirólise e se diferencia de combustíveis que desprendem gases inflamáveis a todo o momento, como por exemplo, a gasolina.

**Pirólise** é o processo onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas e ambiente desprovido de oxigênio. Apesar de sua definição esclarecer a necessidade da inexistência de oxigênio, vários processos ocorrem com uma pequena quantidade dele. O processo é endotérmico, logo é necessário que exista bastante fornecimento externo de calor para acontecer o êxito da reação (LEAL, 2010, p. 1).

Quando um combustível é aquecido atinge diferentes estágios de temperaturas, tais quais demonstrados nos itens a seguir.

### 2.1.1 Ponto de combustão

Segundo a definição utilizada por José (2004), ponto de combustão é a mínima temperatura em que os vapores do combustível aquecido entram em combustão com a aproximação de uma fonte externa de calor, e quando essa fonte é retirada, a combustão se mantém, ou seja, se auto-alimenta.

Figura 1 – Ponto de combustão



Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (2008, p. 13).

### 2.1.2 Ponto de fulgor

Conforme define José (2004), é a temperatura mínima em que um material desprende gases em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura capaz de entrar em combustão em contato com uma fonte externa de calor, não havendo duração prolongada na queima, de modo que quando a fonte externa de calor é retirada, a combustão cessa, devido a insuficiência de vapores e gases desprendidos.

Figura 2 – Ponto de fulgor



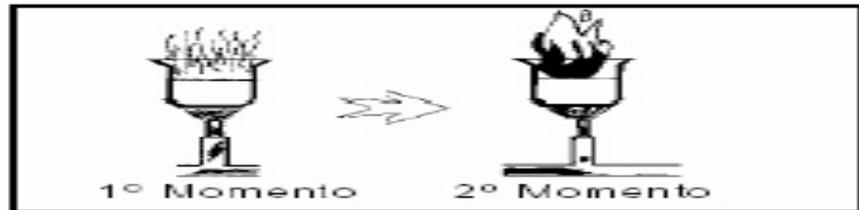
Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (2008, p. 13).

### 2.1.3 Ponto de ignição

Para o Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (2008), ponto de ignição é a temperatura mínima em que os corpos combustíveis liberam gases e vapores inflamáveis que entram em combustão sem a necessidade de uma fonte externa de calor, apenas em

contato com o comburente. Se a temperatura ultrapassa o ponto de ignição, o combustível entra em combustão espontânea.

Figura 3 – Ponto de ignição



Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (2008, p. 13).

## 2.2 INCÊNDIO FLORESTAL

Para Soares (1985, apud PHILIPP, 2007), incêndio florestal é a definição de um fogo incontrolado que se propaga livremente e consome os diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta. Um incêndio florestal diverge de queima controlada e não deve ser confundido, pois, queima controlada é a utilização do fogo em uma área circunscrita, sob determinadas condições de clima, umidade do material combustível, umidade do solo e outras, produzindo a intensidade de calor e taxa de propagação necessária para favorecer certos objetivos de manejo.

Batista; Soares (2003, apud PARIZOTTO, 2006), definem como sendo incêndio florestal a combustão sem controle que propaga-se consumindo os combustíveis naturais de uma floresta, e sua principal característica é o fato de propagar-se livremente, respondendo apenas às variações do ambiente e às influências derivadas dos combustíveis vegetais, do clima e da topografia do local.

## 2.3 QUEIMA CONTROLADA

Conforme o Código Florestal (1998), queima controlada é o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas com limites físicos previamente definidos, e tal técnica de manejo depende de prévia autorização obtida pelo interessado junto ao órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que atue na área onde se realizará a queima (BRASIL, 1998).

Seguindo o mesmo princípio, Lemos et al. (2010) dizem que a queima controlada é uma prática agrícola ou florestal onde o fogo é utilizado de forma racional, ou seja, com o controle da sua intensidade e limitado a uma área previamente definida, atuando como um fator de produção. Existe inclusive a possibilidade de ser utilizado no manejo de unidades de conservação para se evitar o acúmulo de combustível, bem como a ocorrência de incêndios com comportamento violento e de difícil controle.

Apesar de oferecer risco e algum temor entre os administradores florestais, a queima controlada é o método mais prático, econômico e eficiente de redução do material combustível. No Brasil a queima é muito utilizada na redução de resíduos agrícolas no pós-colheita, e florestais, após extração da madeira (SOARES, 2004).

## 2.4 FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DO CALOR

A propagação do fogo ocorre a partir do foco inicial através da transmissão de calor que acontece na combustão dos combustíveis, que segundo Lemos et al. (2010), o calor é transferido de objetos com temperatura mais alta para aqueles com temperatura mais baixa, e o mais frio de dois objetos absorverá calor até que alcance a mesma quantidade de energia do outro.

A convecção, radiação e condução são as três formas de calor pelas quais o calor se propaga.

### 2.4.1 Convecção

Segundo Vélez (2000), se em um determinado lugar a massa de ar se aquece alcançando temperatura maior do que as massas próximas, a tendência é elevar-se devido a sua densidade ser menor, sendo então substituída por outras massas com menos temperatura, que por sua vez, ao se aquecer também se elevarão, originando correntes ascendentes de ar quente que transportará o calor. A convecção influencia diretamente na velocidade de um incêndio, especialmente em terrenos inclinados.

Em um incêndio florestal o ar pode ser aquecido por consequência do aquecimento do solo por altas temperaturas, ou pelo calor desprendido de um incêndio, e as correntes de ar formadas aquecem os combustíveis próximos favorecendo a propagação do fogo.

### 2.4.2 Radiação

Para Lemos et al. (2010), é o calor propagado através de ondas de energia que se distribuem em todas as direções por meio de ondas de calor, e cita como exemplo o aquecimento provocado pelo sol, ou mesmo o aquecimento da cozinha ao esquentar o forno do fogão.

### 2.4.3 Condução

A transmissão do calor por condução se dá por contato direto entre moléculas de um corpo sólido, definido por Oliveira (2005), como a transferência de calor através de um corpo sólido de molécula a molécula.

## 2.5 PRINCIPAIS CAUSAS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Segundo Rodrigues (2008), o risco de incêndio está diretamente relacionado com os agentes determinantes, responsáveis principais pelas causas de incêndios florestais no Brasil, pois são eles que propiciam o início do processo de combustão do material vegetal pelo fato de fornecerem a fonte de ignição decorrente de várias atividades humanas para os mais diversos fins.

Os principais agentes determinantes do risco de incêndios classificam-se em naturais ou antrópicos. Conforme relata Phillip (2007), a única causa natural de incêndios florestais são os raios, mas representam uma porcentagem muito pequena da ocorrência de incêndios, pois no Brasil as descargas elétricas são sempre acompanhadas de precipitações. De acordo com a classificação desenvolvida pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos e adotada pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), as causas de natureza antrópica são as seguintes:

- a) incendiários – intencionalmente provocados;
- b) queimas para limpeza – incêndios originários do uso do fogo em limpeza de terrenos, seja para fins florestais, agrícolas ou pecuários;
- c) fumantes – aqueles incêndios provocados por fósforos e cigarros;
- d) recreação – incêndios causados por pessoas que utilizam a floresta como local de lazer, tais como pescadores e caçadores;

e) estradas de ferro – incêndios causados direta ou indiretamente pelas atividades nas ferrovias;

f) operações florestais – incêndios originados por trabalhadores florestais em atividade na floresta, exceto os causados por fumantes (PHILLIP, 2007).

## 2.6 FASES DA COMBUSTÃO NOS VEGETAIS EM UM INCÊNDIO FLORESTAL

Segundo a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural (2010), o combustível florestal bastante homogêneo do ponto de vista químico por ser constituído essencialmente por celulose. Importantes variáveis químicas devem ser levadas em consideração, são as quantidades relativas dos seus extratos (essências sobre tudo de éter) e resíduos de sílica. As essências são libertadas na forma de gás logo no início do processo da pirólise e são queimadas na zona em que se vê a chama. A sílica é um constituinte mineral inerte que não exerce influência no fenómeno da pirólise. No entanto, outros minerais intervêm ativamente nos fenómenos de pirólise e combustão, como o sódio, o potássio e o fósforo. Alguns combustíveis contêm materiais voláteis como óleo, cera e resina, que fazem com que as espécies sejam mais inflamáveis, tais como as várias espécies de pinheiro, de eucalipto e alguns arbustos (PIAUI, 2010).

Durante um incêndio florestal é possível identificar três fases, sendo a de pré-aquecimento, destilação ou combustão dos gases e incandescência ou consumo do carvão.

### 2.6.1 Pré-aquecimento

Conforme estudos realizados por Schumacher, Brun e Calil (2005), nesta fase o material é seco, aquecido e parcialmente destilado, porém ainda não há chamas. O calor elimina a umidade existente no material e continua aquecendo o combustível até a temperatura de ignição, aproximadamente entre 260 e 400°C para a grande parte do material florestal. A temperatura de ignição será alcançada rápida ou lentamente, pois varia conforme o tipo de combustível, a proporção de umidade e seu estágio de maturação. Os componentes voláteis deslocam-se para a superfície do combustível e são lançados para o ar circundante. Inicialmente essas partículas voláteis contêm grandes quantidades de vapor d'água e alguns compostos orgânicos não combustíveis. Em combustíveis florestais quando a temperatura aumenta, a hemicelulose, seguida da celulose e da lignina, decompõem-se e liberam um fluxo

de produtos orgânicos combustíveis pirolisados. Por estarem aquecidos se tornam mais leves, se elevam e misturam com o oxigênio do ar incendiando, produzindo assim a segunda fase.

### **2.6.2 Destilação ou combustão dos gases**

Segundo Batista e Soares (2006 apud SANTOS, 2009), nessa fase os gases destilados dos combustíveis incendeiam-se e iniciam a combustão, produzindo chamas e altas temperaturas que podem atingir 1250 °C. Nesse estágio do processo de combustão os gases estão queimando, mas, o combustível propriamente dito ainda não está incandescente. Relata-se como experiência observar atentamente um pedaço de madeira que está em processo de queima, é possível perceber que as chamas não estão ligadas diretamente à superfície da madeira, estão separadas por uma fina camada de gases. Isto ocorre porque combustíveis sólidos primeiro são decompostos ou pirolisados pela ação do calor, em vários gases, sendo parte desses gases inflamáveis.

### **2.6.3 Incandescência ou consumo do carvão**

Segundo Motta (2008), esta é a fase da carbonização, o combustível é consumido, havendo formação de cinzas. O calor é intenso, mas praticamente não existe chama nem fumaça. Nessa fase o combustível (carvão) é consumido, restando apenas cinzas.

A quantidade de calor liberada nessa fase depende do tipo de combustível, porém, de um modo geral, considera-se que 30 a 40% do calor de combustão da madeira encontra-se na forma de carbono. A temperatura normal de um incêndio florestal, 800°C ou mais, a porcentagem de carbono chega a 96% (SCHUMACHER; BRUN; CALIL, 2005).

## **2.7 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Para Piauí (2010), a distribuição espacial da vegetação (combustíveis) viva e morta altera a combustibilidade do ponto de vista da evolução energética e da propagação do incêndio. Os combustíveis são normalmente divididos conforme a sua distribuição vertical na floresta em estrato arbóreo, arbustivo e herbáceo. Existe ainda a folhada e a manta-morta.

De acordo com Schumacher, Brun e Calil (2005), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios depende do grau de envolvimento de cada estrato do

combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores no processo da combustão. Seguindo estes parâmetros, os incêndios florestais se classificam em subterrâneos, superficiais e de copa.

### **2.7.1 Incêndio florestal de superfície ou incêndio rasteiro**

Nos estudos realizados por Motta (2008, apud VIEIRA, 2011), tem-se que os incêndios de superfície ou rasteiros são caracterizados pela queima da vegetação na superfície do piso da floresta, ou seja, é a queima de restos vegetais como folhas secas, galhos e outros, que se misturam com a terra que cobre o solo da mata, bem como os troncos e todo material que tenha sofrido decomposição, enfim, todo o material combustível até cerca de 1,80 metros de altura.

Conforme a Polícia Militar do Paraná (2005), os combustíveis de superfície são muito heterogêneos pelas dimensões, distribuição e teor de umidade. No entanto, estão presentes significativas porções de folhas, ervas e pequenos arbustos que apresentam elevado grau de inflamabilidade, especialmente nas estações mais frias e áridas.

Estes incêndios são os mais comuns de todos os tipos existentes, podendo ocorrer em todos os locais onde exista vegetação. É também a forma pela qual iniciam quase todos os incêndios, ou seja, praticamente todos os incêndios são originados por fogos superficiais (PIAÚÍ, 2010).

### **2.7.2 Incêndio florestal de copa**

Geralmente são precedidos de incêndios superficiais ou acompanhados pelos mesmos, uma vez que a queda de materiais incandescentes sobre a vegetação na superfície do solo acaba por ignir esta também. O vento e o distanciamento entre as copas são fatores determinantes manutenção deste tipo de incêndio (COUTO; CANDIDO, 1995).

Conforme Schumacher, Brun e Calil (2005), estes incêndios se propagam rapidamente, liberando grande quantidade de calor e sempre seguidos por um incêndio superficial, pois os incêndios de copa deixam cair fagulhas e outros materiais incandescentes que irão gradativamente queimando arbustos e materiais combustíveis da superfície do solo. As condições fundamentais para que haja ocorrência de incêndios de copa são folhagem combustível e presença de vento para transportar o calor de copa em copa. Verifica-se aqui a importância do vento na propagação do incêndio, influi de tal maneira que na sua falta

difícilmente o fogo atinge e se expande pela copa das árvores. Normalmente o fogo avança 3 a 4 km/h, dependendo das espécies que caracterizam o bosque incendiado. As coníferas e outras espécies resinosas queimam mais rapidamente do que as folhosas. Caso as condições sejam favoráveis, a velocidade de avanço do fogo pode atingir até 15 km/h. Observa-se que este tipo de incêndio desenvolve-se com bastante facilidade em povoamentos de coníferas, embora existam também algumas espécies de folhosas com folhagem inflamável e por esta razão também sujeitas aos incêndios florestais de copa. Pelas características do material combustível e pelas próprias características dos incêndios de copa, são os mais difíceis de serem combatidos.

### **2.7.3 Incêndio florestal subterrâneo**

Incêndios subterrâneos avançam sob a superfície queimando a matéria orgânica seca e as raízes existentes debaixo do solo. De propagação lenta, sem chamas e pouca fumaça, geralmente de difícil localização e se mantém por bastante tempo, além de não ser fácil o combate. Em geral, ocorrem raramente (VÉLEZ, 2000).

Segundo Piauí (2010), nesta classificação de incêndio o fogo avança com temperatura bastante elevada, tornando difícil o combate do mesmo. Pelo fato de avançar lentamente, este tipo de incêndio causa grandes danos às raízes e a fauna de solo, causando inclusive a morte destes e conseqüente morte da árvore. A dificuldade de extinção determina que muitas vezes um incêndio desta classe dure o suficiente para afetar uma área tão extensa como a abarcada por um incêndio superficial.

Nem sempre estes três tipos de incêndios ocorrem isoladamente, pode ocorrer muitas vezes a combinação deles, especialmente entre incêndios de superfície e de copa que podem propagar-se simultaneamente, mas com velocidades diferentes devido as características de cada um.

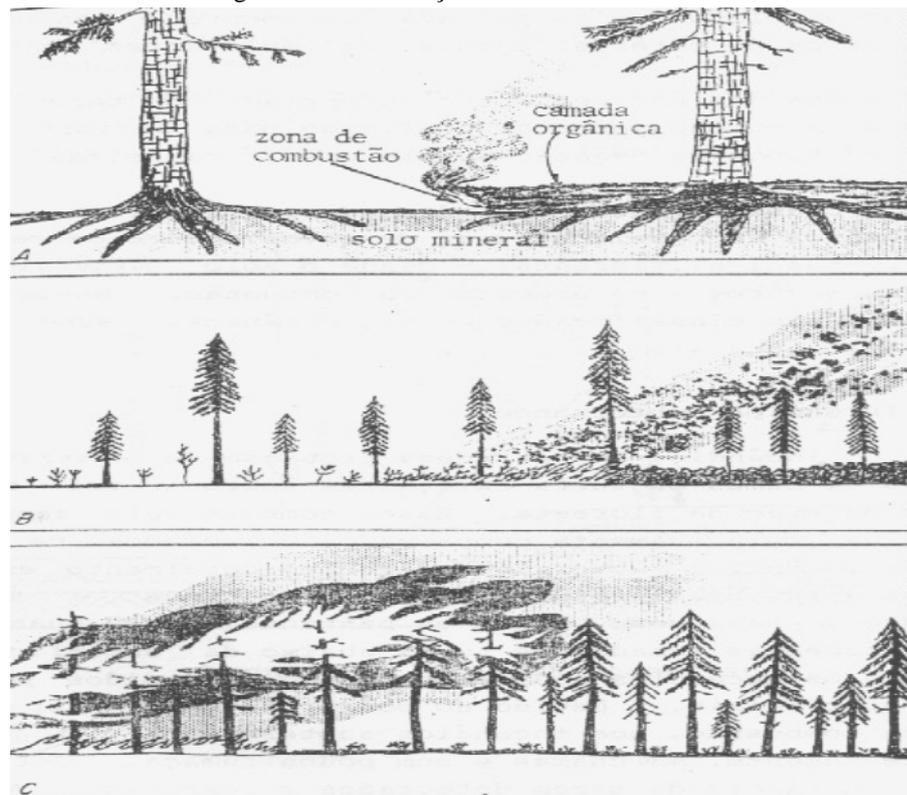
### **2.7.4 Incêndio total**

Conforme Gutierrez et al. (2006 apud SANTOS, 2009), como sendo aquele que ocorre simultaneamente as três classificações incêndio subterrâneo, de superfície ou rasteiro e incêndio florestal de copa ou aéreo.

A vegetação característica do local tem influência diretamente na possibilidade de ocorrência e a propagação do fogo. Florestas densas e úmidas tem mais dificuldade em

incendiar, ao passo que vegetações secundárias como capoeiras, reflorestamentos ou campos naturais, são naturalmente mais facilmente aquecidos e suscetíveis ao fogo. Bordas de áreas florestais com estradas, clareiras ou trilhas são com mais facilidade atingidos pelo fogo devido a presença de cipós, samambaias ou bambus, que facilitam a propagação (STRUMINSKI, 2005).

Figura 4 – Classificação dos incêndios florestais



Fonte: Soares; Batista (2007, apud PIAUÍ, 2010, p. 16).

## 2.8 CONFIGURAÇÃO E PARTES DO INCÊNDIO FLORESTAL DE SUPERFÍCIE

Lemos et al. (2010) definem como sendo as partes de um incêndio:

**a) perímetro do incêndio:** é toda a borda que delimita a área que está em processo de queima ou já queimada. Está sempre mudando até a extinção total do fogo;

**b) frente principal ou cabeça do incêndio:** é a parte do incêndio que se propaga de forma mais rápida e maior intensidade. Segue a direção e sentido do vento, podendo ter duas ou mais frentes e quando o vento muda de direção, os flancos ou a retaguarda podem se transformar em novas frentes. Prevenir o surgimento ou combater uma frente, geralmente garante o sucesso dos combates a incêndios florestais;

**c) cauda ou base do incêndio:** é a parte do incêndio que se move mais lentamente e com menor intensidade, propagando-se contra o vento e em direção oposta à cabeça;

**d) flancos ou alas:** constituem os dois lados do incêndio, esquerdo e direito, e são determinados ao se olhar da cauda para a direção a cabeça.

Tanto os flancos quanto a cauda, são as zonas do incêndio florestal de superfície que permite o ataque direto por parte da guarnição de bombeiros combatentes, pois nessas regiões as chamas são menos intensas que na frente ou cabeça, e como menor irradiação de calor (SANTOS, 2009).

**e) dedo do incêndio:** são faixas mais estreitas do incêndio que se propagam em um dos flancos, que, quando não controlado pode dar origem a outra frente;

**f) bolsa:** área que queima mais lentamente e é contornada pelo fogo. Deve-se evitar combater nesses locais pela facilidade da guarnição ser cercada pelo fogo;

**g) ilha:** área não queimada no interior do perímetro do incêndio podendo abrigar animais peçonhentos.

**h) foco secundário:** foco iniciado geralmente por fagulhas, dando origem a outro foco de incêndio distante do foco inicial. Seu combate de imediato é necessário evitando que forme nova frente ou cabeça.

**i) black:** é a área queimada dentro do perímetro por onde o fogo já passou.

Figura 5 – Configuração e partes de um incêndio florestal de superfície



Fonte: Castro et al. (2003. p. 26).

### 3 COMPORTAMENTO DO FOGO NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE SUPERFÍCIE

Comportamento do fogo é um termo geral usado para exemplificar o potencial de uma queima. Desde a ignição, crescimento, propagação até o declínio de qualquer incêndio em combustíveis florestais representa um complexo processo de reação em cadeia. A ação do fogo através de sua duração é determinada por leis e princípios naturais da combustão, e conhecer esses princípios é um passo básico no julgamento do efeito dos vários fatores ambientais sobre o comportamento do fogo (SOARES, 1979).

Segundo Martins (2010), a sua boa avaliação é fundamental para que as condições de segurança sejam garantidas e para organizar um combate adequado ao incêndio. Busca-se então, saber como avaliar e caracterizar o comportamento do fogo e de que forma fazer a previsão da evolução com base nos fatores determinantes na sua propagação. A intensidade de propagação é definida por Bryam (1959 apud MARTINS, 2010), como sendo o melhor indicador do comportamento do fogo. Enquanto Ribeiro; Soares (1998) consideram que o comportamento da queima varia conforme as características do material combustível, o relevo e as condições meteorológicas.

Corroborando, Philipp (2007) relata que a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas ou fatores climáticos. De acordo com seus estudos, orienta que a intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados à umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. O conhecimento de dados meteorológicos e climatológicos precisos é de grande importância para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais. Os meios de combate aos incêndios florestais existentes atualmente, mesmo com seus elevados custos tem alcançado grande avanço, mas as técnicas de prevenção não apresentaram o mesmo ritmo de evolução. É importante levar em consideração que as medidas preventivas existentes e a utilização de um índice de perigo confiável, são fundamentais para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais objetivando a redução das perdas, bem como dos prejuízos financeiros advindos da ocorrência de eventos catastróficos. Outras utilidades dos índices de perigo de incêndio são o estabelecimento de zonas de risco, permitindo a partir dessa análise um melhor planejamento das atividades de prevenção contra incêndios florestais. A permissão para queimas controladas em períodos menos perigosos, a previsão do comportamento do fogo visando adoção de técnicas mais efetivas de combate e a advertência pública do grau de perigo, são informações importantes a serem passadas nos programas de

educação ambiental, informando à população por meio de veículos de comunicação para que sejam adotadas medidas preventivas e em casos extremos, limitando o acesso a áreas de risco e proibindo o uso de fogo em locais próximos à floresta.

Para Motta (2008 apud VIEIRA, 2011), um incêndio florestal se comporta de acordo com o ambiente em que acontece. É praticamente impossível afirmar com precisão a sequência de acontecimentos quando se inicia um incêndio florestal, pois são inúmeros os fatores externos que influem no comportamento do fogo.

### 3.1 QUANTO AO COMBUSTÍVEL

Com relação a variável combustível, destaca-se com grande influência das características que seguem.

#### 3.1.1 Quantidade de material combustível

Todo material orgânico como folhas, galhos e troncos, que tenha possibilidade de entrar em combustão e queimar quando atingido por incêndios florestais de superfície define-se como material combustível. Esse material pode ser vivo ou morto, encontrar-se no solo ou até 1,80m acima do solo. A quantidade varia em cada região, e varia de acordo com o tipo, espaçamento e idade da vegetação. Sendo um dos componentes do triângulo do fogo, é fator principal e imprescindível para a ocorrência e propagação de um incêndio, não podendo existir fogo se não houver combustível para queimar (SANTOS, 2009).

Segundo Soares (1985 apud NUNES, 2005), a estimativa da quantidade de combustível, geralmente expressa em termos de peso seco ao forno por unidade de área, leva-se em consideração para planos de prevenção e controle de incêndios, especialmente em programas de queima controlada. A quantidade de combustível disponível em uma floresta varia entre 70 e 80% do material menor que 2,5 cm de diâmetro.

#### 3.1.2 Tipo de vegetação

Para Rodrigues (2008 apud SANTOS, 2009) o tipo de cobertura florestal influencia o comportamento do fogo de várias formas. Em uma floresta densa, fechada, a radiação solar é interceptada, e dessa forma reduz significativamente a temperatura do ar, consequentemente, do material combustível no interior da mesma possibilitando a formação

de um micro clima mais ameno e mantendo os níveis de umidade mais elevados, além de limitar a livre passagem das correntes de ar, reduzindo consideravelmente a velocidade do vento que resultará numa menor taxa de evaporação dentro da floresta, evitando ou dificultando a secagem do material combustível. Em uma floresta rala e aberta, permite a penetração mais livre dos raios solares e do vento, produzindo aumento na temperatura do combustível e na taxa de evaporação. Outro fator importante no que diz respeito ao tipo de floresta refere-se à natureza da mesma, ou seja, se é natural ou implantada, resultado de monocultura por exemplo. De uma maneira geral, reflorestamentos são mais sujeitos aos incêndios florestais de superfície pelo fato de estar equilibrado o ponto de ignição dos vegetais em uma mesma área, diferentemente de uma floresta natural, onde a diversificação de vegetais proporciona uma variação no ponto de ignição entre eles.

Corroborando, Soares (1985 apud NUNES, 2005) explica que os materiais combustíveis podem ser divididos em perigosos, semi-perigosos e verdes. Materiais secos são considerados materiais combustíveis perigosos com diâmetro igual ou inferior a 1,0 cm, e fazem parte dessa classificação pequenos galhos, folhas, líquens, musgos e gramíneas.

Esses materiais apresentam menor temperatura de ignição, facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente com muito calor e chamas intensas. Estes materiais perdem umidade rapidamente, sendo a principal matéria consumida pelo fogo.

Continuando o estudo realizado por Soares (1985, apud NUNES, 2005) a classe dos materiais combustíveis semi-perigosos corresponde os materiais secos com diâmetro acima de 1,0 cm, e é composta por de galhos, troncos caídos, húmus e turfa. Presença de materiais lenhosos ou em decomposição e compactados que queimam lentamente. Mesmo apresentando uma ignição mais lenta e mais difícil, esses materiais desenvolvem intenso calor e podem manter uma combustão latente, podendo dessa forma provocar o reinício de incêndios dados como controlados.

Segundo Motta (2008), a vegetação viva constitui os materiais combustíveis verdes existentes na floresta que devido ao alto teor de umidade, são muitas vezes considerados não inflamáveis. No entanto, o calor emitido pela combustão dos outros materiais pode provocar a secagem desse material verde, tornando-o facilmente inflamável como os demais.

Os tipos de vegetação apresentam importante papel no potencial de propagação dos incêndios, conforme pode ser observado no quadro 1, onde se relacionam o tipo de formação vegetal e propagação do fogo.

Quadro 1 – Nível de Propagação dos Incêndios em função do tipo de formação vegetal

| <b>TIPO DE FORMAÇÃO VEGETAL</b> | <b>PROPAGAÇÃO</b>                           |
|---------------------------------|---|
| Povoamentos de coníferas        | Mais rápida e intensa                       |
| Povoamentos de folhosas         | Mais lenta                                  |
| Florestas plantadas             | Mais rápido                                 |
| Florestas naturais              | Mais lenta                                  |
| Pastagens e campos              | Mais rápida, principalmente depois de geada |

Fonte: Prevfogo (2004 apud MOTTA, 2008).

Com relação ao tipo de vegetação, existem outros fatores internos que provocam variação no comportamento do fogo, como a umidade do combustível; a densidade do combustível, compactação; continuidade; substâncias químicas; tamanho e forma do combustível.

### 3.1.2.1 Umidade do combustível

Segundo Parola et al. (2003 apud SANTOS, 2009) a umidade do combustível, que é a quantidade de água retida em sua massa, expressa em percentagem relativamente ao seu peso seco, influencia significativamente na ignição e no desenvolvimento da combustão, sendo assim, quanto menor for a umidade contida nos materiais combustíveis, mais fácil será a ignição e o desenvolvimento do incêndio. Essa variação do teor de umidade é muito maior nos organismos mortos do que nos vivos, uma vez que estes regulam a quantidade de umidade de que necessitam. Cerca de 50 a 80% de umidade compõem as folhas vivas das árvores, apresentando o percentual máximo em períodos chuvosos. Para Soares (1985), o efeito da umidade do combustível na taxa de combustão do material lenhoso e na propagação dos incêndios é tão evidente e nota-se facilmente que o material combustível com alto teor de umidade não queima, ou seja, quanto maior a hidratação do combustível, maior será a quantidade de calor necessária para alcançar a temperatura de ignição, e isto se deve à denominada “umidade de extinção”, valor do conteúdo de umidade dos materiais combustíveis que varia entre 25 e 30% e impede a combustão e propagação dos incêndios. Quando alcança essa porcentagem, o combustível não queima por necessitar uma grande quantidade de energia para vaporizar a água existente no mesmo, ocasionando a redução da quantidade de calor disponível para a combustão propriamente dita. Após longos períodos de estiagem, o teor de umidade dos combustíveis mortos está sempre abaixo da umidade de

extinção aumentando a possibilidade de ocorrência de incêndios florestais de superfície. A chuva, umidade relativa do ar e temperatura, o vento e a radiação solar que pode secar o combustível, são os fatores meteorológicos que controlam a umidade do material combustível.

Para Batista (1990 apud NUNES, 2005) o tempo que os combustíveis florestais levam para absorver ou perder umidade para o ar é bastante variável, e depende do tipo e tamanho do material. Quanto mais finos como folhas, acículas e pequenos ramos podem alcançar um conteúdo de umidade de equilíbrio em poucos minutos, enquanto galhos de grande dimensão e troncos podem levar um longo tempo dependendo de sua dimensão. O combustível morto pode ser separado em várias classes, muito usadas em inventários de material combustível como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Classe de material combustível e tempo de resposta

| Classe de material combustível<br>(Diâmetro em cm) | Tempo médio de resposta<br>(horas) |
|--|------------------------------------|
| < 0,7  | 1                                  |
| 0,7 a 2,4  | 10                                 |
| 2,5 a 7,6  | 100                                |
| > 7,6  | > 1000                             |

Fonte: Nunes (2005. p. 16).

### 3.1.2.2 Densidade do combustível

Densidade corresponde a proximidade existente entre as partículas de um combustível (BRASIL, [2008?]). Explica ainda que o grau de aproximação dessas partículas altera a quantidade de oxigênio necessário para a combustão, ou seja, quanto mais denso o material combustível em uma região, menor a quantidade de oxigênio disponível.

Segundo Lemos et al. (2010) quanto maior a densidade da madeira, maior será a quantidade de calor necessário para sua ignição, nessas situações a forma de propagação de calor predominante será a condução. De outro modo, madeiras de baixa densidade manterão chama com menor quantidade de calor, e a radiação e a convecção terão papel mais importante na forma de propagação.

### 3.1.2.3 Compactação

É a forma como se encontram associados ou agrupados os diferentes combustíveis do bosque, interferindo diretamente na quantidade de oxigênio da queima, quanto maior a

compactação, o oxigênio estará em menor quantidade, resultando numa menor velocidade de propagação do incêndio.

Segundo Soares (1985), a compactação corresponde à quantidade de combustível por unidade de volume, ou seja, representa o grau de associação ou agrupamento de combustíveis. Quanto maior for a circulação do ar entre as partes, maior será a quantidade de oxigênio presente no processo de combustão, resultando na maior taxa de propagação das chamas. Caso contrário, quanto maior a compactação das partes, o calor e a taxa de propagação serão menores.

#### 3.1.2.4 Continuidade do combustível

A continuidade do combustível refere-se a forma como se encontram as árvores e seus componentes dentro da floresta influem na velocidade e direção do fogo. Em locais onde a altura das árvores é semelhante, como por exemplo, em reflorestamentos as chamas se propagam mais facilmente de forma horizontal. Em locais onde a altura das árvores varia como em florestas naturais, o fogo tende a subir verticalmente promovendo incêndio de copa. Soares (1985), explica que havendo descontinuidade de combustível causada por presença de rochas, solo exposto ou áreas alagadas, entre outros fatores, a propagação do fogo é dificultada ou, em certos casos, até mesmo interrompida (ESPAÑA, 2001, tradução nossa).

#### 3.1.2.5 Substâncias químicas

Os combustíveis florestais possuem em sua composição substâncias químicas que retardam ou facilitam a combustão. Para o manejo do fogo é importante conhecer como se distribuem as espécies dentro da floresta, bem como sua composição química.

Lemos et al. (2010) explicam que algumas plantas possuem compostos químicos inflamáveis, como óleos, ceras e resinas, e produzem incêndios de maior intensidade e velocidade de propagação. Ao aquecer o material combustível, esses compostos se volatilizam para o ar, e em virtude de sua menor temperatura de ignição, eles podem inflamar-se até mesmo na ausência de contato com as chamas, produzindo incêndios de maior intensidade, velocidade e conseqüente dificuldade de controle.

### 3.1.2.6 Tamanho e forma do combustível

O tamanho e forma do combustível influenciam na velocidade de propagação e leva em consideração o diâmetro da vegetação, classificando-os em:

- a) muito fina: menor a 5mm (pastagem, material de decomposição, folhas);
- b) fina: de 5 a 25 mm (pequenos ramos, árvores em primeira etapa de crescimento, pequenos arbustos);
- c) média: de 25 a 75 mm (ramos grandes, arbustos);
- d) grossa: maior de 75 mm (árvores de grandes) (ESPAÑA, 2001, tradução nossa).

## 3.2 QUANTO A METEOROLOGIA

Segundo Germano (1998) alguns fatores climáticos que exercem grande influência no surgimento ou não de um incêndio são a velocidade e direção do vento, duração da seca ou possibilidade de chuvas e a umidade do combustível florestal. O monitoramento destes fatores é tão importante na Califórnia, por exemplo, que todo posto de combate a incêndio florestal possui uma base climatológica para verificar as condições do tempo que esta em constante variação. Manter observação a estes fatores facilita identificar a iminência de um incêndio, e podem auxiliar a determinar o momento em que a guarnição deve avançar ou recuar durante o combate.

Por exercerem influência marcante sobre as florestas, tanto benéficas como prejudiciais ao desenvolvimento das árvores dependendo da forma de atuação desses fenômenos naturais, a maior parte dos agentes atmosféricos são essenciais e indispensáveis ao crescimento das árvores quando atuam de maneira normal (MOTTA, 2008).

Para a World Meteorological Organization (1966, apud NUNES, 2009), clima é a distribuição de probabilidade do tempo meteorológico, e determinados pela média de parâmetros ou elementos meteorológicos ocorridos em uma região. O clima é definido pela média climática de todos os elementos meteorológicos que podem ser afetados pela altitude, latitude, proximidade do mar, vegetação e pela atividade antrópica, a radiação solar e a rotação da terra, tendo em vista que a radiação solar é máxima no momento em que os raios incidem perpendicularmente à superfície terrestre, indiretamente ela altera a temperatura do solo e do ar gerando gradientes de pressão que promovem a formação e circulação das massas de ar, e originam dessa forma os ventos. Corroborando, Schroeder e Buck (1970), enfatizam a

importância do conhecimento dessas variáveis meteorológicas pela possibilidade de se identificar os dias e as épocas de maior probabilidade de ocorrência de incêndios e, podendo com essas informações definir medidas técnicas e administrativas para reduzir o potencial de danos pelo fogo.

### **3.2.1 Temperatura**

A temperatura refere-se ao grau de calor de um lugar. O calor age sobre a vegetação retirando a umidade, tornando-a seca, o que facilita o início e a propagação de um incêndio. O frio também é importante neste processo pelo ressecamento que provoca ou até mesmo pela queima verificada especialmente em locais onde há ocorrência de geadas (LEMOS et al. 2010).

Segundo Saviolli (1998 apud SANTOS, 2009), a temperatura age diretamente sobre um combustível fornecendo calor necessário para elevar o combustível à temperatura de ignição, ocorrendo que, quanto mais elevada for à temperatura ambiente mais seca ou desidratada estará a vegetação, alcançando uma condição ideal de ignição que facilitará a propagação do fogo. De forma indireta, influencia outros fatores que controlam a propagação do fogo, como o vento que, provoca uma instabilidade atmosférica pelo movimento de correntes de ar, e amplia a oferta de oxigênio à queima. Geralmente é confundida com o calor, mas a temperatura de um material combustível é a condição que determina se este material irá transferir calor ou irá receber calor de outro corpo. Temperatura é um indicador de calor, é uma grandeza física, característica de um dado corpo em um determinado estado físico (sólido, líquido ou gasoso), que é superior ou inferior, que varia conforme esse corpo absorve mais ou menos energia, que se altera em períodos do dia e épocas do ano.

De acordo com os estudos realizados por Soares (1985), a temperatura máxima ocorre após o meio dia, entre 13 e 15 horas, sendo o pior horário para se combater um incêndio florestal de superfície, por ser o momento mais quente do dia. Após este horário, ou pela manhã, a temperatura cai gradativamente e facilita o combate aos incêndios.

Para o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná (1999), os combustíveis finos, aqueles com diâmetro inferior a 25 mm como as folhas dos vegetais são rapidamente aquecidos pela temperatura do ar e insolação direta, e por isso respondem mais rapidamente aos efeitos da temperatura do ar e à insolação direta que os de maior espessura. Os combustíveis maiores apresentam menor temperatura que os finos durante o dia, mas isso se inverte à noite devido à maior presença de água naqueles do que nestes. Da mesma forma que

nos momentos mais quentes do dia, os combustíveis das encostas voltadas para o norte e o oeste apresentam temperaturas mais altas do que os das faces sul e leste, ocorrendo que dos combustíveis expostos diretamente à radiação solar, os superficiais geralmente apresentam maior temperatura que os aéreos.

### **3.2.2 Umidade relativa do ar**

A umidade influi na probabilidade de um incêndio começar ou não. Quanto maior a temperatura, mais seco estará o ar e maior será a perda de água nos combustíveis, aumentando assim a vulnerabilidade de um incêndio florestal.

Para Lemos et al. (2010) a umidade relativa do ar refere-se a quantidade de água existente no ar. A baixa umidade é responsável pelo ressecamento da vegetação, facilitando o início do incêndio e a sua propagação. A baixa umidade também facilita a ação do oxigênio na reação de combustão pelo aumento de sua concentração relativa no ar. Batista (1984), considera o fato de que o ar é mais seco durante o dia, tornando mais fácil controlar um grande incêndio no período noturno, quando os materiais combustíveis estão úmidos, fato que dificulta a propagação do fogo. Talvez a falta de chuvas seja o fator climático que mais influi sobre a ocorrência de incêndios florestais, pois o ar se torna mais rarefeito, fazendo com que a vegetação se torne mais inflamável. Além disso, a umidade atmosférica também é um elemento importante na avaliação do grau de dificuldade de combate aos incêndios. A análise de dados sobre ocorrências de incêndios florestais revelam que, quando a umidade relativa desce ao nível de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio.

Corroborando, o Código Florestal (1998), considera que existe uma troca contínua de vapor de água entre a atmosfera e o combustível depositado no piso da floresta. Ocorre que o material seco absorve água de uma atmosfera úmida e libera água quando o ar está seco. E em período de seca ocorre uma queda considerável na umidade atmosférica, e a quantidade de umidade do material vivo é afetada. Assim, a umidade relativa do ar é um dos fatores mais importantes na propagação do incêndio florestal de superfície (BRASIL, 1998).

Analisando a tabela 2, proposta por Soares e Batista (2006) percebe-se a influência da umidade relativa do ar na propagação do incêndio florestal de superfície. A medida que diminui a umidade, aumenta a velocidade de propagação.

Tabela 2 – Tabela de umidade relativa do ar e fator de propagação das chamas

| Umidade relativa do ar (%) | Fator de propagação |
|----------------------------|---------------------|
| 45 - 41                    | 1,00                |
| 40 - 31                    | 1,4                 |
| 30 - 26                    | 2,0                 |
| 25 - 16                    | 2,8                 |
| < 16                       | 3,2                 |

Fonte: Soares e Batista (2006).

Castro et al. (2003), relatam que durante o dia o ar seco retira umidade da vegetação, aumentando a velocidade do incêndio, e à noite o ar úmido cede umidade à vegetação, fazendo com que a propagação seja mais lenta. No período noturno o solo deixa de receber radiação solar e continua perdendo calor por radiação do solo, assim, se a temperatura da vegetação diminuir, então o excesso de vapor de água existente na atmosfera se condensa e é depositado na vegetação formando o orvalho, o que dificulta a propagação das chamas e facilita o seu combate.

### 3.2.3 Vento

O vento pode ser considerado o elemento mais variável e frequente, sendo o mais difícil de prognosticar. Dependendo da sua direção pode ser convertido em aliado ou inimigo durante o controle e extinção de incêndios florestais. O vento define juntamente com a topografia, a direção, velocidade do fogo, a configuração do incêndio e sua intensidade (ESPANHA, 2001, tradução nossa).

A evaporação de água da vegetação aumenta com a presença de vento no ambiente, e dessa forma reduz a umidade do combustível, acelerando o processo de combustão, reduz o período de pré-aquecimento além de influenciar na coluna de convecção e aumentar ou reduzir a velocidade do fogo, dependendo da direção que este se localiza, como se observa na figura 6. O ar seco e a alta temperatura fazem com que os combustíveis florestais sequem rapidamente, desse modo favorecendo sua ignição, ativação e posterior combustão (BRASIL, 2008).

Corroborando, Motta (2008) relata que o material combustível seco recebendo influência do vento, propicia que as chamas passem de um material combustível para outro, transformando-se em um incêndio de grandes proporções e difícil controle. Os materiais combustíveis pré-aquecidos pelo sol queimam-se com maior facilidade do que aqueles que estão frios. Enquanto a temperatura do solo aumenta a corrente de ar aquecida pelo sol, ao

mesmo tempo seca o material combustível, fazendo que a queima seja facilitada, ou seja, quanto mais forte for o vento, mais rápido o fogo se difundirá.

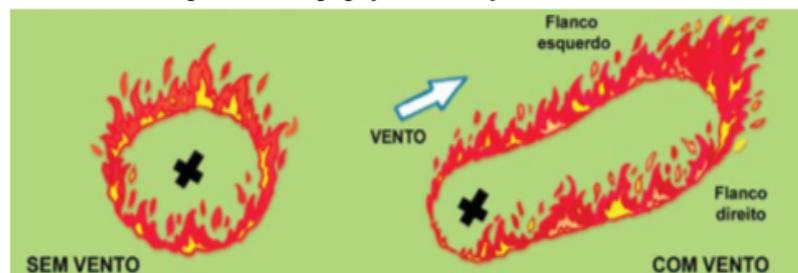
Segundo Santos (2009), levando-se em consideração as alterações constantes que o vento apresenta, influencia diretamente na propagação do fogo, nas seguintes formas:

a) promove o deslocamento do ar úmido do interior da floresta, propiciando aumento da evaporação e favorecendo a secagem do material combustível. Quando as rajadas são suaves sobre as fagulhas, auxiliam na ignição dos combustíveis florestais;

b) depois de iniciada a combustão, o vento vai impulsioná-la através do fornecimento contínuo de oxigênio;

c) além de determinar a direção e a forma da combustão, também auxilia a sua propagação, levando materiais incandescentes para outras áreas.

Figura 6 – Propagação em função do vento



Fonte: Escola Nacional de Bombeiros (2003, apud MOTTA, 2008, p. 21).

A movimentação das nuvens é um bom indicador do rumo do vento, além de que as modificações mais significantes no seu rumo e velocidade devem-se à topografia do terreno. Para os ventos conhecidos por brisas existem dois mecanismos principais: um deles está associado às brisas do vale (diurna) e de montanha (noturna), enquanto o outro está relacionado com as brisas marítima (diurna – início da tarde) e terrestre (noturna – início da noite). Sendo que, para a formação das brisas do vale e da montanha ocorre que: quando o sol nasce começa a aquecer o solo que transmite ao ar parte desse calor, e conforme a temperatura vai aumentando, o ar junto ao solo vai ficando mais leve e deslocando-se para cima, no primeiro momento verticalmente, em seguida, ao longo da encosta. Ao mesmo tempo, o ar quente junto ao solo é substituído por ar frio que desce na vertical, durante à noite ocorre o contrário. Há sempre dois tipos diferentes de ventos na propagação dos incêndios: aqueles que estão associados à circulação atmosférica geral e os ventos locais. O resultado da conjugação destes dois tipos de vento determina o sentido e a intensidade da propagação (CASTRO et al., 2003).

Ventos de montanha possuem ciclo diurno e estão presentes em encostas. Sopram montanha acima durante o dia devido ao aquecimento da superfície terrestre, facilitando a propagação do fogo. Durante a noite mudam o sentido, e passam a soprar no sentido inverso em razão do resfriamento da superfície. Em uma área plana o vento determina a direção do incêndio. Compara-se um incêndio montanha acima a um incêndio em uma área plana com vento forte. A combinação noturna de ventos descendentes, umidade aumentando e temperatura reduzindo facilita o combate neste período do dia, em contrapartida as condições de trabalho é dificultada pela pouca visibilidade (STRUMINSKI, 2005).

### **3.2.4 Precipitação**

Segundo Santos (2009), a presença de chuva é um fator que limita a ignição e a propagação do incêndio florestal de superfície, podendo reduzir as possibilidades de ocorrências a zero dependendo do índice pluviométrico. Porém, a ocorrência de incêndio florestal de superfície sempre está relacionada à falta de precipitação. Ocorre que durante os longos períodos de estiagem se amplia a capacidade de propagação do incêndio florestal de superfície, uma vez que propicia a secagem progressiva do material combustível morto, reduzindo a percentagem de umidade. Para Soares (1985), existe uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca, pois neste último aumenta a probabilidade de ignição e a facilidade de propagação do incêndio. Combustíveis florestais extremamente secos podem ser umedecidos superficialmente por uma chuva matinal e secarem rapidamente, tornando-se novamente inflamáveis durante a tarde.

É preciso levar em consideração não apenas a quantidade de chuva, mas também a sua distribuição na estação quando se pretende avaliar o efeito da precipitação sobre o potencial de propagação do fogo em uma região. Pois, duas regiões com a mesma precipitação total anual podem apresentar características completamente diferentes com relação a risco de incêndios. Caso a distribuição da chuva seja uniforme durante todo o ano, sem haver uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação de incêndios é bem menor do que, por exemplo, o potencial de uma região em que a estação chuvosa seja concentrada em alguns meses, com longos períodos de estiagem durante outros meses. Portanto, a distribuição da precipitação é fator fundamental na definição do início, término e duração das estações de alto potencial de incêndio (SCHROEDER; BUCK, 1970; SOARES, 1985).

### 3.2.5 Radiação

Também considerado por Martins (2010), como sendo outro fator importante no comportamento do fogo, a radiação tem um papel fundamental na propagação, pois é responsável pelo pré-aquecimento do combustível, que faz liberar gases inflamáveis que posteriormente se inflamam.

Segundo os estudos realizados por Schroeder e Buck (1970, apud NUNES, 2005), radiação é o processo pelo qual a Terra recebe energia calorífica do Sol, cuja energia é produzida no Sol por fusão nuclear, onde o hidrogênio é convertido em hélio. Ocorre que neste processo, uma parte infinitamente pequena da massa do Sol é transformada em energia térmica. A intensidade de radiação solar que alcançam os limites da atmosfera terrestre é constante, porém, a quantidade de energia que chega à superfície da terra é muito variável e depende da quantidade de nuvens na atmosfera. Acontece de certa forma uma interferência, onde parte da energia é refletida pelas nuvens e perdida no espaço. Na ausência de nuvens a maioria da radiação atravessa diretamente a atmosfera e alcança a superfície terrestre. A presença de vapor d'água, ozônio e dióxido de carbono faz com que radiações de certos comprimentos de onda sejam absorvidas pela Terra, e convertida em energia térmica, desta forma aquecendo a superfície.

A inclinação dos raios solares também interfere na quantidade de radiação que a Terra recebe, e varia de acordo com a latitude, estação do ano, relevo e a hora do dia. A radiação solar provoca alterações direta ou indiretamente em todas as variáveis meteorológicas (SOARES; BATISTA, 2004).

### 3.3 QUANTO A TOPOGRAFIA

Segundo Gaylor (1974, apud RODRIGUES, 2008), topografia corresponde a toda a superfície terrestre, descrita pelas suas formas e acidentes naturais, e exerce grande influência sobre o clima, especialmente nos ventos convectivos e também sobre a vegetação, no material combustível das diversas regiões terrestres. A topografia influencia tão significativamente na propagação do incêndio florestal de superfície que alguns autores chegam a incluí-la como um dos elementos do fogo. Para Lemos et al. (2010) o relevo tem um efeito importante sobre o microclima de cada localidade, como por exemplo, encostas côncavas tendem a conter maior umidade que encostas convexas. Além disso, também tem

influência na direção e intensidade dos ventos. Nas serras e morros, por exemplo, em condições normais, o vento é mais intenso do que nos vales.

Motta (2008), relata que as características topográficas também são consideradas fatores decisivos no comportamento do fogo, e leva-se em consideração as características do terreno onde ele ocorre, ou seja, aquelas relativas à superfície terrestre, à posição e configuração das colinas, montanhas, planos, vales, rios e lagos, de forma que as barreiras naturais, como rios, córregos, caminhos, terrenos pedregosos impedem, ou ao menos dificultam a propagação do fogo. As alterações de relevo influenciam no vento, na temperatura e na umidade relativa do ar e, como consequência condicionam a propagação dos incêndios florestais. As seguintes características topográficas exercem influência através da elevação, exposição e inclinação. Mais detalhes nos itens a seguir.

### **3.3.1 Inclinação**

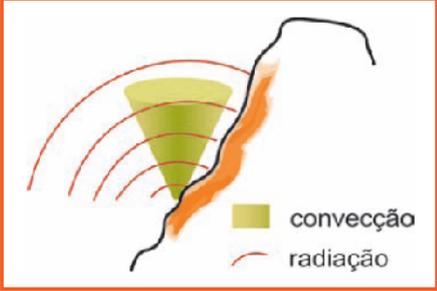
Segundo Lemos et al. (2010) o grau de inclinação do terreno é o mais importante dos fatores topográficos, atua especialmente na velocidade de propagação. Incêndios queimam mais rapidamente morro acima do que morro abaixo, ou seja, quanto mais íngreme o morro, maior será a velocidade de propagação do fogo pelo efeito da convecção e radiação sobre os combustíveis que ainda não foram queimados. Struminski (2005), explica que o material encosta acima é previamente seco pelo calor convectivo e o oxigênio renovando constantemente pela corrente de ar fresco aspirada pelo ar quente que sobe, fazendo com que a combustão ocorra mais rápida e violentamente montanha acima, e a velocidade de propagação aumenta quanto maior o grau de inclinação.

As encostas apresentam características diferenciadas, destacando-se que no seu terço inferior as temperaturas são mais altas e geralmente há mais vegetação. No terço médio formam-se cinturões térmicos, onde o ar é mais quente no meio da encosta durante a noite. Na parte superior ocorrem variações bruscas de ventos e existe menos vegetação. Os vales e corredores de água têm, em geral, mais vegetação do que as encostas. Da base para o cume a vegetação vai rareando e a umidade diminui (MOTTA, 2008).

Segundo Whelan (1998, apud NUNES, 2005), na tabela 3 percebe-se o quanto a inclinação altera o fator de propagação de um incêndio. A influência da inclinação em um incêndio é similar ao efeito do vento, quando se propaga em terreno com aclive acentuado se assemelha a um incêndio que se propaga no plano, sob efeito de ventos fortes.

Tabela 3 – Fator de propagação a ser utilizado no cálculo da velocidade de propagação do incêndio

| Grau de inclinação (%) | Fator de propagação |
|------------------------|---------------------|
| 0 a 5                  | 1,0                 |
| 6 a 19                 | 1,5                 |
| 20 a 39                | 2,0                 |
| 40 a 70                | 4,5                 |



Fonte: Lemos et al. (2010, p. 41.)

Caso um incêndio inicie no alto de uma montanha durante o dia, teria os fatores vento e declividade interferindo negativamente em sua propagação, tornando-a muito lenta, pois o vento estaria em sentido contrário e a declividade negativa, no entanto, no período noturno ocorreria o inverso, tendo o vento soprando favorável no sentido descendente da encosta, porém, ainda teria o efeito negativo da declividade, o que não permitiria alcançar a mesma intensidade de um incêndio no fundo do vale (SCHROEDER; BUCK, 1970; SOARES, 1985).

### 3.3.2 Elevação

Segundo Savioli (1998, apud SANTOS, 2009) em lugares de maior altitude o ar é mais rarefeito e as temperaturas são mais baixas. A cada 300 metros de altitude os termômetros marcam dois graus a menos, logo em locais com baixa elevação apresentam características opostas, mais aquecidas e melhor servidas de oxigênio, favoráveis ao risco de incêndio florestal de superfície. Para Struminski (2005), nas áreas mais baixas dos vales o potencial de propagação durante o dia é maior, e nas montanhas durante a noite, pois a dissipação do calor do dia é mais lenta nos topos, devido principalmente aos movimentos convectivos das massas de ar aquecidas pela radiação solar.

Corroborando, Soares (1985) relata que baixas elevações têm a tendência de apresentar estações de risco de incêndios mais longas que locais mais altos. Topo de montanhas e fundos de vales apresentam diferentes condições de queima durante o dia, devido às correntes de vento e às condições de temperatura e umidade predominantes nos dois locais, os fundos de vale apresentam maior potencial de propagação de fogo durante o dia, porém, à noite a situação se inverte.

Quanto se busca uma estratégia para o combate a um incêndio florestal de superfície é importante que o comandante da equipe e demais integrantes tenham noção do

quanto a topografia é capaz de influenciar nas ações tomadas. As alterações do relevo influem ainda no surgimento de focos secundários, uma vez que em declives muito acentuados possibilitam que combustíveis inflamados rolem e propague o fogo trazendo riscos para as equipes de combate, pois as chamas podem cercá-las (SANTOS, 2009).

A altitude influencia no desenvolvimento da vegetação, nos locais mais altos as espécies vegetais possuem características físicas que as permitem reter apenas a quantidade de água necessária à sua sobrevivência. Esse tipo de vegetação é mais caracterizado pela presença de herbáceas e de pequenos arbustos, que, por conterem menos água que as folhosas, tornam-se mais combustíveis. Em geral, quanto mais baixo for o terreno, mais frondosa será a vegetação pela maior disponibilidade de água. Arbustos e árvores maiores se desenvolvem em locais de menor altitude, pois, não suportariam o frio e as geadas dos locais mais altos (MOTTA, 2008).

### **3.3.3 Exposição**

Segundo Struminski (2005), as regiões que estão voltadas para a fonte de calor, o sol, reterá maior quantidade de calor, apresentando maior temperatura, menor umidade relativa e os materiais combustíveis secarão mais rapidamente, tornando-se mais suscetível à ocorrência de incêndio florestal de superfície. Por exemplo, ao sul do Equador, a face norte das montanhas é sempre ensolarada, sendo a mais quente e a de maior risco de incêndios florestais, seguida da oeste e da leste. A medida que aumenta a latitude, a face sul praticamente não receberá sol nem mesmo no verão.

Lemos et al. (2010) relatam que a posição das encostas em relação à radiação solar afeta o desenvolvimento da vegetação e sua condição como combustível. Enquanto em algumas faces ocorre um aquecimento maior da vegetação, nas regiões que sofrem menor interferência da radiação, especialmente a região sul do país, a ocorrência das geadas pode ressecar mais a vegetação nas encostas voltadas para o Sul, pois é desse quadrante que as frentes frias polares avançam sobre o Brasil, fator que também aumenta o risco de incêndios.

## **3.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO**

Conforme relata Batista (1990), a taxa de propagação de um incêndio, também conhecida como velocidade de propagação do fogo, indica o progresso do fogo em um local determinado, e corresponde à velocidade que o fogo avança em uma área de ocorrência de

incêndio. Soares e Batista (2007), consideram que a velocidade de propagação do fogo é um dos mais importantes parâmetros quando se estuda o comportamento do fogo, e relatam que taxa de propagação linear é uma das mais importantes variáveis a serem consideradas. E que, para se estudar através de simulações o comportamento do e programas de manejo do fogo, utiliza-se geralmente modelos derivados do modelo de Rothermel, que se baseia na teoria de conservação de energia, ou de modelos empíricos obtidos de dados coletados sob condições naturais.

A equação demonstra que a taxa na qual o fogo se propaga é a razão entre o calor recebido pelo combustível que irá queimar na frente do fogo e o calor necessário para fazer este combustível entrar em ignição, considerando que o fogo se propaga por uma sequência de ignições do combustível disponível na floresta, e o que condicionam a queima são o tamanho e compactação das partículas do combustível, cujo calor liberado proporciona a ignição do material combustível que está próximo, tornando o processo cíclico (SOARES; BATISTA, 2007).

Fernandes (2001, apud BEUTLING, 2009), considera os estudos baseados em equações empíricas mais fáceis de usar, pois exigem poucas variáveis de entrada e podem ser transformados em tabelas, e apresentam resultados satisfatórios quando utilizados dentro da amplitude de variações das condições nas quais foram desenvolvidos.

Viegas (2007, apud BEUTLING, 2009) observou em ensaios laboratoriais realizados em condições controladas que os efeitos associados à convecção provocada pelo fogo e à mudança da forma da frente das chamas promoveram uma variação da velocidade de propagação durante o desenvolvimento do fogo, chegando à conclusão de que não se pode definir uma velocidade precisa em função do declive especialmente quando este for íngreme.

A tabela 4 foi proposta por Piauí (2010) como classificação da velocidade de propagação do fogo:

Tabela 4 – Classificação da velocidade de propagação do fogo

| Velocidade de propagação (m.s <sup>-1</sup> ) | Classificação |
|---|---------------|
| < 0,033                                       | Lenta         |
| 0,033 - 0,166                                 | Média         |
| 0,166 - 1,166                                 | Alta          |
| > 1,166                                       | Extrema       |

Fonte: Piauí (2010, p. 7).

### 3.5 INTENSIDADE DO FOGO

Conforme Soares (1979) a intensidade do fogo relaciona-se diretamente a proporção da quantidade de material combustível disponível. É a intensidade do fogo a responsável pela magnitude de danos às florestas, e também pelo grau de dificuldade no combate aos incêndios. Quando maior a quantidade de combustível, maior a dificuldade de controle de um incêndio, não só devido ao aumento de liberação de calor e comprimento das chamas, mas também pela dificuldade operacional de se quebrar a continuidade do material através da abertura de aceiros internos.

Batista (1990), explica que esta variável expressa a taxa de energia liberada pelo fogo durante o processo de combustão. Byram (1959 apud VIEIRA, 2011), considera como sendo o calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo, e sua equação é regulada pela quantidade de material combustível disponível para a queima pelo poder calorífico deste combustível e pela velocidade de propagação do fogo:

$$I = H.w.r$$

I = Intensidade do fogo ( $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ );

H = poder calorífico ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ );

w = peso do combustível disponível ( $\text{kg.m}^{-2}$ );

r = velocidade de propagação do fogo ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

### 3.6 COMPRIMENTO DAS CHAMAS

Beutling (2009) identifica outra maneira de estimar a intensidade do fogo é através do comprimento das chamas:

$$I = 62,08h_c^{2,17}$$

Sendo:

I = intensidade do fogo ( $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ );

hc = comprimento das chamas (m);

O comprimento das chamas expressa as reais condições de queima do material combustível em campo, tendo em vista que, o arranjo do material combustível e seu teor de umidade associados à declividade do terreno, vento e condições climáticas, entre outros fatores, condicionam o comprimento das chamas de um incêndio. Para Soares e Batista (2007, apud BEUTLING, 2009), a estimativa do comprimento das chamas pode ser obtida durante a

ocorrência do incêndio, porém por tratar-se a chama de um fenômeno pulsante, ocasional e extremamente transitório, tornando-se difícil determinar com precisão seu valor.

Relacionando o comprimento das chamas (m) e a intensidade do fogo ( $\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ), Parizotto (2006) elaborou o quadro 2 a fim de permitir melhor noção e facilitar a compreensão das proporções de um incêndio.

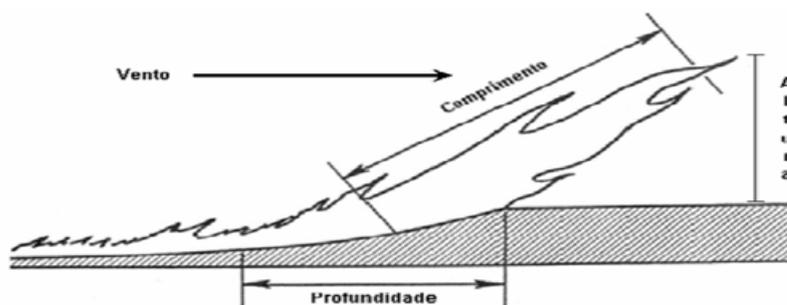
Quadro 2 – Proporções de um incêndio baseado na relação comprimento das chamas com a intensidade do fogo

| Comprimento das chamas (m) | Intensidade do fogo ( $\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) | Indicações sobre o comportamento do fogo e meios de combate.  |
|----------------------------|--|---|
| < 1,2                      | < 80   | Os incêndios geralmente podem ser combatidos diretamente, na cabeça ou nos flancos usando-se ferramentas manuais, pequenos aceiros manuais são suficientes para segurar o fogo.   |
| 1,2 a 2,4                  | 80 a 400   | Os incêndios são muito intensos para se usar o método direto, aceiros manuais não conseguem segurar o fogo, equipamentos para bombeamento de água e tratores com laminas são necessários para se combater o fogo.                     |
| 2,4 a 3,3                  | 400 a 800  | Os incêndios podem apresentar sérias dificuldades para serem controlados e combatidos, pois apresentam queima de copa e com isso muito fagulhamento.  |
| > 3,3                      | > 800  | São incêndios extremamente violentos, com queima total da floresta e intenso fagulhamento, nada pode ser feito na frente do fogo, deve-se esperar por uma redução da intensidade do fogo, geralmente causada por mudanças climáticas. |

Fonte: Parizotto (2006, p. 41).

Para se definir conceitos relacionados a comprimento, altura e profundidade das chamas, observa-se a figura 7. Percebe-se que, caso o fogo seja em local isolado, isento da presença de vento, e a plataforma de queima estiver com inclinação de  $0^\circ$  o comprimento da chama será o mesmo que a altura, ou seja, a altura e o comprimento da chama serão iguais.

Figura 7 – Identificação do comprimento, altura e profundidade da chama



Fonte: Batista (2007, apud BEUTLING, 2009, p. 21).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes laboratoriais para verificar a influência da inclinação do terreno na propagação de incêndios florestais foram realizados no Laboratório de Incêndio localizado no município de Xanxerê-SC, junto ao Centro de Treinamento da 3ª Companhia do 6º Batalhão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

O referido laboratório encontra-se em uma sala isolada, evitando que fatores externos como a presença de vento influenciassem no resultado do experimento.

Com base nos procedimentos técnicos adotados o trabalho assume as características de uma pesquisa experimental que consiste em “[...] determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.” (GIL, 2002, p. 73).

O método de abordagem será o dedutivo, definido por Lakatos e Marconi (2005) como o método que parte das teorias e leis gerais para a ocorrência de fenômenos particulares. Quanto ao método de procedimento, usou-se o monográfico descrito por Lakatos e Marconi (2005) como o estudo sobre um tema específico, que tenha um valor representativo e abrangido por uma metodologia rígida. E a análise dos dados será realizada de forma qualitativa e quantitativa.

Conforme relata Beutling (2009), em geral, a realização de experimentos em laboratório apresentam vantagens significativas sobre quaisquer outras situações que se objetive determinar variáveis componentes do comportamento do fogo. Em laboratório, facilmente pode-se determinar a velocidade de propagação, altura e comprimento das chamas, até mesmo as variáveis de difícil estimativa em situações reais de campo como o tempo de residência, taxa de consumo e intensidade da frente de fogo. Em laboratório também se controla facilmente as condições ambientes, diferentemente das condições climáticas de um campo aberto, fortemente influenciado pelo vento, umidade relativa do ar e temperatura, além das características gerais da área, como a topografia e as características do material combustível florestal existente sobre a superfície.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DO LABORATÓRIO

O laboratório foi adequado dentro de uma estrutura pré-fabricada com 12,5 m<sup>2</sup>. A plataforma de queima, construída em metal, apresenta uma base plana com dimensões de 1,0 x 3,0 metros, contando com um área de 3 m<sup>2</sup> (Figura 8). Possui em suas laterais escadas

verticais com encaixes que permitem a inclinação da plataforma para simulações em até 4 níveis diferentes entre a inclinação e o declive. A utilização de uma trena metálica posicionada verticalmente permitiu uma certa precisão na leitura das alturas das chamas.

Ao longo de todo o perímetro da plataforma de queima há um prolongamento vertical de 10 cm de altura, que evita a queda de material combustível que se encontra nas bordas da plataforma, reduzindo o desperdício de material ou situações inesperadas com a queda de compostos incandescentes sobre o piso da sala.

Figura 8 – Plataforma de queima



Fonte: do autor

## 4.2 PROCESSO METODOLÓGICO

### 4.2.1 Coleta e preparo do material combustível

Conhecer o tipo e quantidade de material combustível depositado sobre o solo da floresta é muito importante para estimativa de parâmetros ligados ao comportamento do fogo. O estudo desses fatores se deu em um povoamento de pinus com 8 anos, localizado às margens da BR 282, no município de Xanxerê-SC. A coleta das ascículas ocorreu no mês de julho/2012. O material combustível coletado foi correspondente ao material morto acamado sobre a superfície do povoamento, conforme a classificação de Beutling (2009). Todo o material foi pesado para determinação do peso fresco, e alcançou uma densidade de  $14,2 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 4.2.2 Materiais utilizados nos ensaios

Os materiais utilizados para a realização do experimento foram:

- a) plataforma de queima;
- b) material combustível (acículas);
- c) balança (Marca/Modelo: Urano/UDI 25000/5);
- d) álcool, isqueiro e cal;
- e) fita métrica, cronômetro;
- f) computador e software Excel para armazenamento dos dados;
- g) câmera fotográfica;
- h) prancheta, caneta, sacos plásticos para armazenar as amostras;
- i) etiquetas adesivas;
- j) enxada, pá e ancinho;
- k) outros (camionete, combustível, etc.).

#### 4.2.3 Descrição do experimento

Por sobre a plataforma de queima foi aplicado uma camada de terra de 0,02 m (figura 9), para evitar que o aquecimento direto do metal da mesa influenciasse no aquecimento das parcelas que ainda iriam queimar, pois isso poderia alterar o tempo de queima, tendo em vista que auxiliaria no secamento e evaporação do material combustível à queimar, além de permitir também a maior aproximação com a situação real do bosque onde as acículas foram coletadas.

Foram utilizados ao todo 6,390 kg de acículas na realização do experimento, sendo em cada simulação utilizada a carga de  $1,065 \text{ kg.m}^{-2}$ . A montagem da “cama” de combustível foi realizada sobre uma superfície de  $3,0 \text{ m}^2$  (figura 9), porém, para o experimento, foram considerados apenas os dados referentes a  $1,5 \text{ m}^2$ , por ser considerado suficiente para realizar as comparações e verificar as condições de queima e comportamento do fogo, sendo que a distância percorrida pelo fogo no espaço correspondente ao estudo foi demarcada com cal.

Nessa área da plataforma, a carga foi distribuída homogeneamente, mantendo constantes a espessura da manta e a densidade do material combustível em todas as queimas, sendo a espessura da manta para a queima de 0,5 m e com uma densidade de carga de  $14,2 \text{ kg.m}^{-3}$ . A determinação para o valor da espessura da manta decorreu da comparação com as condições reais de acúmulo de material combustível morto no piso da floresta, de forma que a distribuição das acículas sobre a plataforma de queima, esta medida era facilmente obtida em

termos de “arranjo” do material combustível, não havendo necessidade de compactação ou “aeração” do mesmo, bastando pequenos ajustes manuais.

Figura 9 – Preparação da plataforma de queima e da “cama” de material combustível



Fonte: do autor

Para cada situação – 3 angulações diferentes, sendo 0°, 22,5° e 45°, foram executadas 02 repetições, totalizando um total de 06 queimas, conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Descrição do experimento

| <b>Carga (kg)</b> | <b>Densidade (kg.m-3)</b> | <b>Espessura da manta (m)</b> | <b>Inclinação (graus)</b> | <b>Nº de repetições</b> |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 0,71              | 14,2                      | 0,05                          | 0                         | 2                       |
| 0,71              | 14,2                      | 0,05                          | 22,5                      | 2                       |
| 0,71              | 14,2                      | 0,05                          | 45                        | 2                       |

Fonte: do autor

Durante os procedimentos foram catalogadas as variáveis velocidade de propagação e comprimento das chamas. A medição das variáveis de interesse foi realizada com base em 03 intervalos de 0,5 m ao longo da plataforma de queima, da parte considerada de 1,5 m, conforme a tabela 6, que apresenta o resumo da coleta dos dados das simulações.

Na linha de start (5,0 cm) aplicou-se 100 ml de álcool ao longo da largura desta faixa, para dar início ao fogo, objetivando que a queima fosse imediata em toda a extensão da área de start. A ignição foi realizada com isqueiro.

#### 4.3 MÉTODO UTILIZADO PARA VERIFICAR A INTERFERÊNCIA DA INCLINAÇÃO DO TERRENO NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO FLORESTAL

Para verificar a influência da inclinação do terreno, quando o fogo se propaga no sentido do aclave, comparou-se o comportamento do fogo simulando um incêndio em 3

angulações diferentes do terreno, sendo a 0°, 22,5° e 45°, e levando-se em consideração as três variáveis, velocidade de propagação, comprimento das chamas e a intensidade do fogo.

A velocidade de propagação do fogo foi estimada através da determinação do tempo médio gasto pela frente de fogo para percorrer períodos pré-estabelecidos (50 cm) durante as simulações. A velocidade é dada em metros por minuto ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Corroborando, Vieira (2011) conclui que estabelecendo dois pontos no terreno com medidas pré-estabelecida, podemos obter a velocidade de propagação do fogo, cronometrando o tempo que o fogo leva para avançar a distância entre os dois pontos, este é o método direto. Estas medidas são dadas através de uma unidade de distância por uma unidade de tempo.

Para determinar o comprimento das chamas, utilizou-se uma trena metálica posta verticalmente na lateral da mesa de queima enquanto o fogo se desenvolvia, movimentando a trena a medida que o fogo avançava. O comprimento considerado foi o médio de cada período.

Enquanto para determinar a intensidade do fogo, utilizou-se a fórmula que Beutling (2009) desenvolveu em seu trabalho, pela simplicidade e facilidade de se identificar a variável exigida.

#### 4.4 RESULTADOS

Cabe aqui ressaltar que todas os simulados foram realizados no mesmo dia (17 de julho de 2012), no período matutino e sob temperatura ambiente variando de 8 a 10°C. As simulações de queima iniciaram as 10h, e se estenderam até as 12h.

A influência da inclinação do terreno na propagação do fogo, inicialmente foi analisada individualmente em cada simulação, levando em consideração a velocidade de propagação do fogo, comprimento da chama e intensidade do fogo. Em seguida foram analisados e comparados os dados obtidos das três simulações.

##### **4.4.1 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 0°**

Na figura 10 verifica-se a evolução da queima, desde a sua origem até o limite pré-estabelecido de 1,5 m.

Figura 10 – Simulação com inclinação de 0°



Fonte: do autor

Observou-se no primeiro e segundo ensaios laboratoriais que a queima ocorreu lentamente, mas de forma contínua em linha por toda a extensão do espaço pré-estabelecido, consumindo todo o material combustível por igual. Através da figura 10 e dos dados obtidos catalogados na tabela 6, percebe-se que a velocidade de propagação do fogo é demasiadamente baixa quando o fogo se propaga em um terreno plano e sem a interferência do vento.

Ao final fez-se um comparativo entre os simulados, mas fica claro que a intensidade do fogo e o comprimento das chamas também apresentam valores baixos quando a inclinação do terreno for de 0°, além da pouca presença de fumaça.

#### 4.4.2 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 22,5°

Nos ensaios laboratoriais terceiro e quarto, demonstrados na figura 11 e tendo os dados obtidos cadastrados na tabela 6, percebe-se uma mudança significativa no comportamento do fogo com relação aos dados obtidos nos dois primeiros ensaios.

Figura 11 – Simulação com inclinação de 22,5°



Fonte: do autor

Durante o terceiro e quarto ensaios, percebeu-se a quantidade consideravelmente maior de chamas e de fumaça. O fogo não seguiu uma linha uniforme de queima, a medida que as chamas maiores alcançavam com mais facilidade o material combustível que estava mais a frente o fogo evoluía com maior velocidade neste sentido, formando a “cabeça” ou “frente” de um incêndio.

Pela irregularidade da queima, identificam-se pontos incandescentes ainda após a passagem do fogo.

#### 4.4.3 Aspectos da queima identificados na simulação com inclinação de 45°

Durante a realização do quinto e sexto ensaio laboratorial (figura 12), notou-se nesse experimento que o fogo não se propagou de forma constante em linha, da mesma forma que nos simulados terceiro e quarto, a medida que as chamas alcançavam o material combustível que estava mais a frente, sucessivamente este era consumido com bastante intensidade, e rapidamente o fogo havia consumido tudo.

Além da velocidade de propagação, o tamanho das chamas e a intensidade do fogo serem consideradas altas, percebeu-se também grande volume de fumaça, e que pela velocidade que o fogo atingiu, vários foram os pontos incandescentes que ficaram para trás enquanto a “frente” do fogo avançava.

Figura 12 – Simulação com inclinação de 45°



Fonte: do autor

Comprova-se neste experimento os relatos de Struminski (2005), que quando o fogo se propaga no sentido do aclave o material combustível a ser queimado é previamente seco pelo calor convectivo e o oxigênio renovando constantemente pela corrente de ar fresco aspirada pelo ar quente que sobe, tornando a combustão mais rápida e violenta montanha acima, e quanto maior o grau de inclinação, maior também será a velocidade de propagação.

#### 4.4.4 Comparativo e análise dos dados obtidos

Não se pode aqui relacionar diretamente os dados obtidos, com os dados resultantes de estudos da tabela 4 e do quadro 2, tendo em vista que neste trabalho utilizou-se queima em pequena escala, procurando apenas demonstrar visualmente pelas figuras e pela tabela de resultados (tabela 6), além de se fazer uma comparação entre os resultados dos três ensaios laboratoriais realizados sobre o quanto a inclinação do terreno no sentido de alicive influencia no comportamento do fogo, especialmente na sua velocidade de propagação e intensidade do mesmo.

Todos os resultados obtidos durante a realização dos ensaios laboratoriais, nas 3 simulações de inclinação do terreno foram cadastrados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos 3 ensaios laboratoriais

| <b>INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA DE QUEIMA = 0°</b> |  |                                 |  |   |
|--|--|---------------------------------|--|---|
|  | <b>Tempo de propagação do fogo (min)</b> | <b>Comprimento da chama (m)</b> | <b>Velocidade de propagação (m.min<sup>-1</sup>)</b> | <b>Intensidade do fogo (kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)</b> |
| <b>Média 1° ensaio (0°)</b>                    | 00:14:27                                 | 0,11                            | 0,103  | 0,516147508   |
| <b>Média 2° ensaio (0°)</b>                    | 00:14:12                                 | 0,1                             | 0,105  | 0,419712311   |
| <b>Média total</b>                             | <b>00:14:19</b>                          | <b>0,105</b>                    | <b>0,104</b>   | <b>0,466586842</b>  |

| <b>INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA DE QUEIMA = 22,5°</b> |  |                                 |  |   |
|---|--|---------------------------------|--|---|
|   | <b>Tempo de propagação do fogo (min)</b> | <b>Comprimento da chama (m)</b> | <b>Velocidade de propagação (m.min<sup>-1</sup>)</b> | <b>Intensidade do fogo (kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)</b> |
| <b>Média 3° ensaio (22,5°)</b>                    | 00:03:59                                 | 0,36                            | 0,37   | 6,762824774   |
| <b>Média 4° ensaio (22,5°)</b>                    | 00:04:04                                 | 0,38                            | 0,36   | 7,604700469   |
| <b>Média total</b>                                | <b>00:04:01</b>                          | <b>0,37</b>                     | <b>0,365</b>   | <b>7,177107471</b>  |

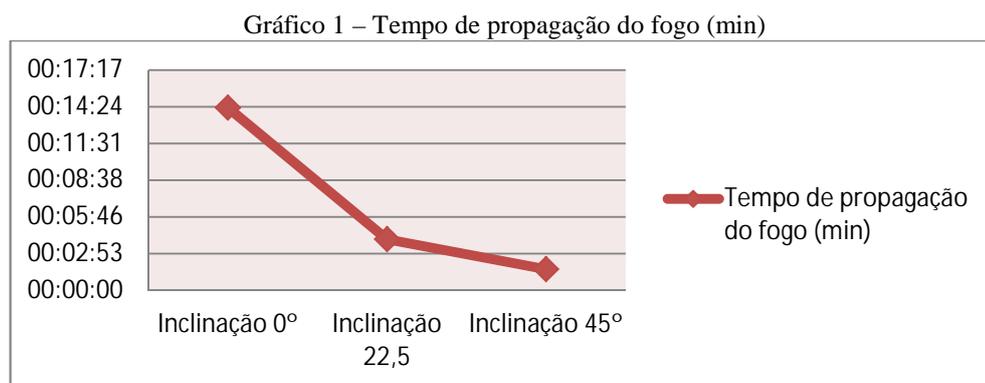
  

| <b>INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA DE QUEIMA = 45°</b> |  |                                 |  |   |
|---|--|---------------------------------|--|---|
|   | <b>Tempo de propagação do fogo (min)</b> | <b>Comprimento da chama (m)</b> | <b>Velocidade de propagação (m.min<sup>-1</sup>)</b> | <b>Intensidade do fogo (kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)</b> |
| <b>Média 5° ensaio (45°)</b>                    | 00:01:38                                 | 0,5                             | 0,91   | 13,79483841   |
| <b>Média 6° ensaio (45°)</b>                    | 00:01:42                                 | 0,45                            | 0,88   | 10,97546333   |
| <b>Média total</b>                              | <b>00:01:40</b>                          | <b>0,475</b>                    | <b>0,895</b>   | <b>12,34175273</b>  |

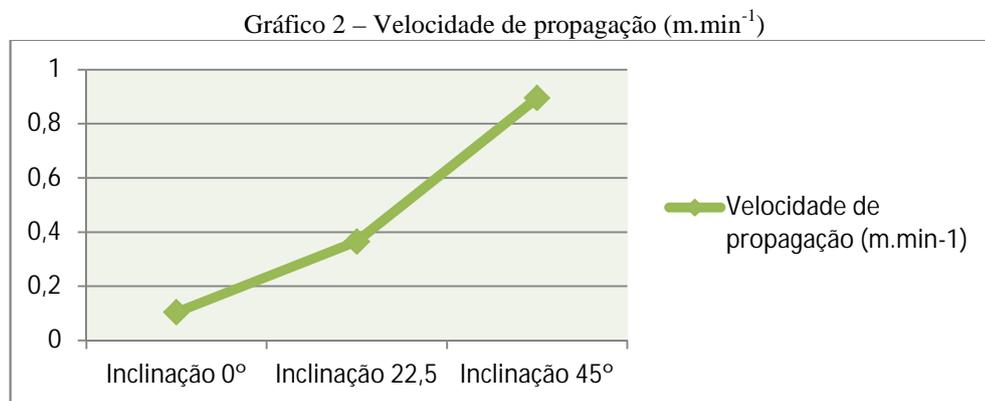
Fonte: do autor

A partir dos dados coletados durante os ensaios, identificou-se uma diferença bastante significativa nas variáveis obtidas a medida que a plataforma de queima foi sendo inclinada para a realização das experiências, especialmente da média do tempo de queima do

primeiro ensaio para o segundo ensaio, onde com inclinação de 0° o fogo levou 14min e 19seg para percorrer 1,5m, e quando a mesa foi posta com inclinação de 22,5°, levou 04min e 01seg para percorrer o mesmo trajeto, e levando apenas 01min e 40seg quando a inclinação foi de 45°, dados comparados no gráfico 1. Enquanto no gráfico 2, identifica-se que a velocidade de propagação foi bastante diferenciada, e ao ser medida utilizando a razão do deslocamento do fogo pelo tempo de queima desde a origem até que a frente do fogo atingisse o limite pré estabelecido de 1,5m e sendo comparadas, nota-se um aumento de quase 9 vezes maior entre o terreno plano e um aclive de 45°.



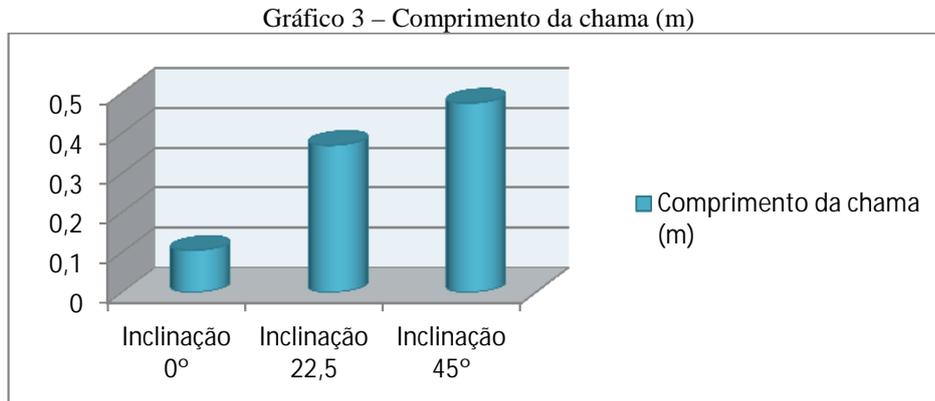
Fonte: do autor



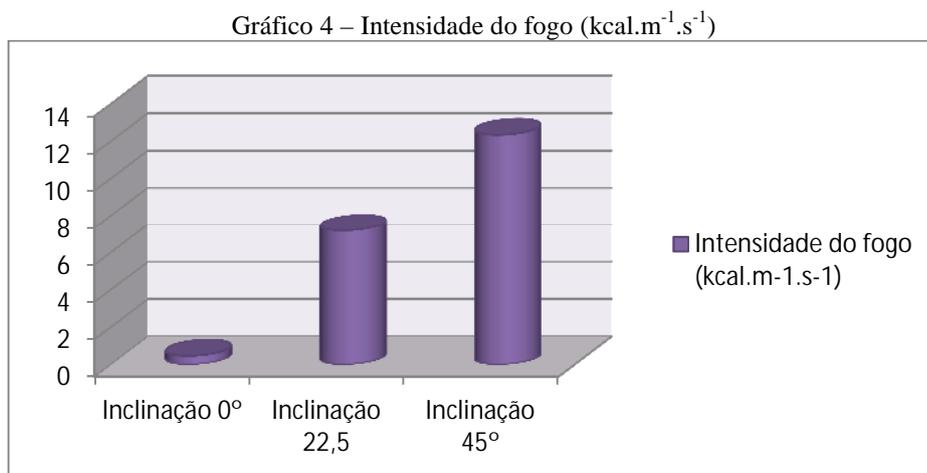
Fonte: do autor

Com relação ao tamanho das chamas, percebeu-se que a medida que a inclinação do terreno aumentava, também aumentava o comprimento das chamas, que apresentaram valores médios de 10,5 cm nos primeiros ensaios, 37 cm para a inclinação do terreno de 22,5° e de 47,5 cm à 45°, conforme verificado no comparativo do gráfico 3, e esses valores influenciaram significativa nos cálculos da intensidade do fogo ao ser utilizada a fórmula indicada por Beutling,  $I = 62,08h_c^{2,17}$ , onde  $h_c$  corresponde ao comprimento das chamas, sendo que a média da intensidade do fogo alcançada no ensaio a 0° de inclinação foi de 0,466

$\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ,  $7,177 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  quando a inclinação foi de  $22,5^\circ$ , e chegando a  $12,341 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  quando a inclinação foi de  $45^\circ$ , ou seja, cerca de 26,5 vezes maior entre a menor e maior inclinação (gráfico 4).



Fonte: do autor



Fonte: do autor

Ao relacionar os resultados dos dados obtidos com um incêndio iniciado na base de um terreno com certa inclinação em acíve a sua velocidade de propagação será muito lentamente, porém, à medida que o tempo passar a cabeça do fogo encontrada na parte mais elevada do perímetro do fogo, começará a intensificar-se ao receber o calor de toda a zona do incêndio que se situa abaixo dela. Por este motivo a altura das chamas na cabeça do fogo aumentará e com ela a sua velocidade de propagação. Ocorrendo o aumento do comprimento das chamas, por sua vez, induz mais vento junto da frente e produz um novo aumento de velocidade e assim por diante.

Conforme relatam Rossa et al. ([2004?]), há um fenômeno induzido pela convecção produzida pelo fogo, e manifesta-se pela ocorrência súbita de ventos de grande intensidade e que produzem o característico roncar do incêndio, conhecido pelos combatentes

do fogo. O aparecimento deste vento intenso induz muitas pessoas a reportar a ocorrência de ventos vindos de todas as direções, ou a pensar que foi uma súbita rajada de vento ou um outro qualquer fenômeno atmosférico a produzir a erupção de fogo. Mas estas comparações são completamente erradas, pois o comportamento eruptivo deriva do próprio comportamento do fogo e não requer qualquer outra contribuição externa. Caso houver uma encosta coberta de combustível e se na sua base houver um foco de incêndio, o fogo irá aumentando a sua intensidade, até atingir a erupção, independentemente do que suceder nas proximidades. Mas este fato ocorre especialmente em locais de maior inclinação da encosta, ou seja, quanto mais inclinado for o terreno e quanto mais fino e seco for o combustível, mais depressa se atingirá a erupção. Caso a encosta for pouco inclinada ou pouco extensa pode ocorrer que o fogo não acelere suficientemente para se atingir a erupção.

O comportamento do fogo identificado e comprovado nos ensaios laboratoriais, especialmente quando o terreno apresenta certa inclinação explica a ocorrência de muitos dos acidentes fatais ocasionados por mau planejamento prévio e análise dos locais que estão a queimar, verificando corretamente a possibilidade de se empenhar brigadas ou grupos de combate a incêndio com segurança e que venham a alcançar resultados positivos na batalha contra as chamas. Em consequência da intensidade de propagação dos incêndios, Viegas (2004) relata em seu trabalho intitulado de “Os acidentes mortais relacionados com os incêndios florestais em Portugal, no verão de 2003”, alguns acidentes ocorridos em situações diversas relacionadas aos incêndios florestais.

Neste acidente, ocorrido em 3 de Agosto, no Conselho de Castelo de Vide, distrito de Porto Alegre, seria vítima um bombeiro de 45 anos, dos bombeiros voluntários de Castelo de Vide. Fazia parte de um grupo de cinco bombeiros, que foram na sua viatura para combater um incêndio em vegetação herbácea num pequeno vale. Quando se preparavam para ir combater as chamas, num golpe de vento as chamas progrediram muito rapidamente e vieram ao seu encontro. Um dos bombeiros, ao não conseguir embarcar na viatura ficou para trás e foi refugiar-se num conjunto de rochas com alguns arbustos. A aproximação do fogo a este local provocou-lhe queimaduras graves, de que viria a falecer no dia 14 de Agosto.

Acidente ocorrido no dia 30 de Julho, no Estreito, no distrito de Castelo Branco, 18.00h, faleceu um homem de 81 anos de idade que estava na sua viatura a percorrer uma propriedade florestal ameaçada por um incêndio. Quando este se aproximava, descendo uma encosta do outro lado do vale em que se encontrava, decidiu subir em direção à estrada principal. A propagação do fogo foi, no entanto muito mais rápida do que ele poderia ter previsto e viu o seu caminho barrado por uma frente que subira um desfiladeiro. Sem retirada possível, permaneceu dentro da viatura, que foi completamente destruída pelo fogo.

No mesmo Conselho e no mesmo dia 2 de Agosto, noutra local, perto de Casal de Paires, viriam a falecer dois técnicos de combate de nacionalidade Chilena, um de 43 anos e outro de 29 anos. Faziam ambos parte de uma brigada de dez homens pertencentes a uma empresa de proteção florestal, que trabalhava para a Aliança Florestal. Enquanto estavam a vigiar, perceberam um foco de incêndio que se aproximava da estrada em que seguiam. O chefe da brigada deu ordem para

apressarem o passo, mas dois homens acabaram se atrasando em relação aos restantes do grupo. A certo ponto encontraram a estrada cortada pelo fogo e refugiaram-se por uma outra estrada que descia em direção a um pequeno vale. Infelizmente esta estrada, que inicialmente parecia afasta-los do incêndio de que fugiam, acabava por conduzir a uma área sem saída, por estar completamente rodeada pelo fogo. Tentaram recuar, mas não conseguiram ultrapassar uma pequena encosta que os separava de uma extensão de água que lhes poderia ter proporcionado refúgio.

Em resultado deste acidente ocorrido no Conselho de Ponte de Sôr, distrito de Santarém, no dia 2 de Agosto, veio a falecer um homem de 52 anos, tratorista, que juntamente com o seu filho tentava combater um incêndio na propriedade agrícola em que trabalhava. Ao verem que nada podiam fazer face ao avanço do fogo decidiram fugir no trator que tinha uma cabine fechada. Em determinada altura, devido a fumaça, saíram do caminho e colidiram em uma árvore. Decidiram sair do trator e prosseguir a pé, para fugir ao incêndio. Um pouco mais adiante o tratorista, que possivelmente terá ficado ferido com o choque do trator, ao não ter forças para prosseguir, insistiu com o filho para fugir, em busca de socorro para ele. Com dificuldade ainda andou alguns metros, em busca de refúgio, mas viria a ser atingido pelo fogo, muito antes de o filho poder voltar com socorros.

Neste acidente, ocorrido na Moutinhosa, distrito de Castelo Branco, no mesmo dia do anterior e a cerca de dois quilômetros do local de ocorrência do mesmo, veio a falecer um proprietário florestal, de 53 anos de idade. Com a aproximação do incêndio procurou organizar um grupo de defesa da aldeia. Tendo-se proposto combater o incêndio no fundo de um vale, verificando que a violência do incêndio ao descer a encosta oposta era tal, que se tornava perigoso combatê-lo naquele local, decidiu então retornar para a aldeia. Ao fazer este percurso, a pé, foi surpreendido pelo rápido avanço das chamas pela encosta, que lhe cortou o caminho para a aldeia. Mudou então de direção a outro vale, do lado oposto de onde vinha. Mas também nesta encosta foi surpreendido por uma nova frente da qual não pode fugir. (VIEGAS, 2004, p. 259).

Segundo Rossa et al. (2004), ao chegar para combater um incêndio inicial na base de uma encosta, as equipes de combate consideram que facilmente o eliminarão com os recursos disponíveis e em pouco tempo, atacando o fogo pela retaguarda e avançando pelos flancos, e vão subindo e forma a envolver todo o perímetro do fogo. Ocorre que há casos em que alguns elementos da equipe deslocam-se a fim de combater o fogo num ataque frontal e se situam acima do fogo, porém, se esta atividade não for realizada com eficiência e o fogo tiver atingido uma intensidade e velocidade de propagação maior, esse fato poderá resultar em um desastre. E por este motivo, qualquer combate a incêndio floresta na base ou meio de uma encosta, mesmo que em estágio inicial, deve ser feito tomando extrema cautela, e sendo considerado como regra básica de segurança que sequer se permaneça numa encosta estando acima do fogo e com vegetação de permeio. E caso não houver recursos suficientes, nem se deve tentar o combate, devendo retirar-se e adotar outra estratégia.

## 5 CONCLUSÃO

Com o fim de estruturar o referencial teórico, na primeira parte do trabalho buscou-se conceituar pontos primários acerca do tema Combate a Incêndios Florestais, servindo como embasamento para o restante da pesquisa em que as seguintes conclusões foram alcançadas.

Incêndio florestal define-se como sendo o fogo que se propaga sem controle, sendo influenciado apenas às variações do ambiente, às influências derivadas do tipo de combustível vegetal que está a queimar, do clima e da topografia do local, consumindo qualquer espécie de material combustível que se encontra numa floresta, diferentemente da queima controlada, em que o fogo é aplicado para o manejo, sob condições pré estabelecidas e planejadas previamente, como o cuidado com a verificação das condições do clima, da umidade do material combustível, umidade do solo e outras, permitindo o fogo alcançar a intensidade de calor e velocidade de propagação suficientes para obter os fins a que se destinam.

No que se refere aos conhecimentos relativos ao comportamento do fogo conclui-se que o comportamento da queima varia conforme as características do material combustível, o relevo e as condições meteorológicas, e que é praticamente impossível afirmar com certeza a sequência de acontecimentos quando se inicia um incêndio florestal, pois são inúmeros os fatores externos que influem no comportamento do fogo. E as variáveis mais significativas e importantes a serem consideradas tanto nos planejamentos acerca da prevenção, quanto ao incêndio florestal que esteja em andamento são a velocidade de propagação, a intensidade do fogo e o comprimento das chamas.

Até bem pouco tempo atrás, sabia-se empiricamente sobre a influência da inclinação do terreno na propagação de incêndios florestais através de experiências vividas por aqueles que estão diariamente empenhados na função de combatentes do fogo.

A medida que o tempo passou, e especialmente pelo fato dos altos investimentos financeiros em grandes povoadamentos de reflorestamento e pelos perigos e degradações que um incêndio florestal pode promover, tem-se destacado estudos sobre o comportamento do fogo com o intuito de se obter conhecimentos tanto no sentido de sua prevenção até aprimoramento de técnicas de seu combate.

Ao realizar a observação e o levantamento de dados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais, conclui-se que a inclinação do terreno influencia direta e significativamente no resultado das variáveis analisadas quando o fogo ocorre em aclave.

No que diz respeito a velocidade de propagação, foi o fator que mais chamou atenção pela diferença no tempo em que o fogo levou para percorrer os 1,5 metros da plataforma, que foi 14m e 19 seg com a plataforma em 0°, e sendo de apenas 01min e 40seg para percorrer o mesmo espaço com inclinação foi de 45°.

Para a variável comprimento da chama, conclui-se que caso a carga de combustível não apresente grandes variações, um incêndio rasteiro em um povoamento de pinus localizado em uma região que não apresenta inclinação do terreno, sobre a influência de pouco vento, as chamas tiveram em média comprimento de 10,5 cm, alcançando 37 cm com uma variação de 22,5° morro acima e 47, 5 cm em um terreno mais íngreme, com 45° de inclinação.

No que tange à variável intensidade do fogo, com a plataforma de queima sem inclinação o seu resultado foi de 0,466 kcal.m-1.s-1, sendo de 7,177 kcal.m-1.s-1 quando a inclinação foi de 22,5°, e alcançando 12,341 kcal.m-1.s-1 quando a inclinação foi de 45°, apresentando uma diferença de quase 26,5 vezes maior entre a menor e maior inclinação.

Basta que haja um foco de incêndio e uma extensão suficiente da encosta, dependendo essencialmente da configuração do terreno, se esse fogo não for combatido no início, em pouco tempo alcançará uma velocidade de propagação, comprimento de chamas e intensidade do fogo que dificilmente será controlado.

Espera-se que a análise comparativa das três simulações de variação da inclinação do terreno na propagação do fogo possa contribuir para o levantamento de riscos quando se objetiva investir em povoamentos de reflorestamento em regiões de aclave. Que os resultados obtidos neste trabalho auxiliem na elaboração de planos de prevenção e de combate aos incêndios florestais, para que as guarnições de Corpos de Bombeiros ou Brigadas de Incêndio não corram riscos desmedidos com relação ao combate ao fogo, além de favorecer para que acidentes como os que foram mencionados não ocorram novamente.

## REFERÊNCIAS

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: UFRPE, 1990.

BATISTA, A. C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamentos de pinus taeda**. 61f. 1984. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1984.

BEUTLING, Alexandre. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 121 f. 2009. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

BRASIL. **Decreto n.º 2.661, de 8 de julho de 1998**. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Brasília, DF, 8 jul. 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Amazônia sem fogo**: programa de formação técnica sobre as alternativas ao uso do fogo no desenvolvimento sustentável da Região Amazônica. [2008?]. (Módulo IV).

CASTRO, Carlos Ferreira de, *et al.* **Combate a incêndios florestais**. Escola Nacional de Bombeiros. Lisboa-Portugal, 2003. (Coleção: Manual de Formação Inicial do Bombeiro. Vol. 12). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/94926610/Combate-Inc-Florestais-XIII>. Acesso em 28 jun. 2012.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLICIA MILITAR DO PARANÁ. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: PMPR, 2010. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/54423502/59/Inclinacao>>. Acesso em: 17 mar. 2012.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLICIA MILITAR DO PARANÁ. **Apostila de combate a incêndios**: apostila de combate a incêndios florestais. Curitiba: CBPMP, 1999. 44 p.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de combate a incêndios florestais**. São Paulo: PMESP, 2006. (Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/55571856/Combate-a-incendios-florestais-SP>>. Acesso em: 15 maio 2012.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Prevenção e combate a incêndio**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/22828469/2/TETRAEDRO-DO-FOGO>>. Acesso em: 20 mai. 2012.

COUTO, E.; CANDIDO, J. F.. **Incêndios florestais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 101 p

ESPAÑA. Ministério del Medio Ambiente. **Manual para Jefes de Brigadas Forestales**. Agencia colombiana de cooperacion internacional. 2001.

GERMANO, João Osório Gimenez. **Combate a incêndios florestais: combate a incêndios florestais - Criação de um manual e fonte de consulta para combatentes de incêndios florestais que não são profissionais.** 276 f., 1998. Monografia (Curso Superior de Polícia) – Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais, Centro de Aperfeiçoamento e Estudos Superiores – Polícia Militar de São Paulo, São Paulo, 1998.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

JOSÉ, Humberto J. **Combustão e combustíveis:** Apostila química tecnológica geral. Florianópolis: UFSC, 2004.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina A.. **Técnicas de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2010.

LEAL, Adriano. **Pirólise.** Infoescola: Navegando e aprendendo. 2010. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/reacoes-quimicas/pirolise/>>. Acesso em: 31 maio 2012.

LEMOS, A. F. et al. **Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais.** Brasília: Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade, 2010.

MARTINS, Samuel. D. R. **Incêndios florestais: comportamento, segurança e extinção.** 96 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos) - Faculdades de Letras, Ciências e Tecnologia e de Economia na Universidade de Coimbra. Coimbra, 2010.

MOTTA, Daniel Souza. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais.** 32 f., 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008. Disponível em: [http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Daniel\\_Souza\\_Motta.pdf](http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Daniel_Souza_Motta.pdf)>. Acesso em: 03 de jun. 2012.

NUNES, José. R. S. **FMA+ - um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná- Brasil.** 150 f., 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, Marcos de. **Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural: Comando e controle de operações de incêndio.** Florianópolis: Editograf, 2005. 136 p.

PARIZOTTO, Walter. **Padronização de procedimentos em operações de controle de incêndios florestais no Estado de Santa Catarina.** 62 f., 2006. Monografia (Especialização de Bombeiros para Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PHILIPP, Maurício M. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre.** 90 f., 2007. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

PIAUI. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Apostila do curso técnicas de prevenção e combate à incêndios florestais**. Curitiba: STCP, 2010. Disponível em:

<[http://www.codevasf.gov.br/programas\\_acoes/programa-florestal-1/acoes-florestais-na-bacia-do-parnaiba/produto11\\_apostila\\_incendios.pdf/view?searchterm=apostila](http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/programa-florestal-1/acoes-florestais-na-bacia-do-parnaiba/produto11_apostila_incendios.pdf/view?searchterm=apostila)>. Acesso em: 07 jun. 2012.

POLICIA MILITAR DO PARANÁ. **Material de apoio sobre combate incêndios florestais**. Curso de formação de soldados BM. Piraquara, 2005. Disponível em:

<[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:7W9PUD6ZSFMJ:hebertsato.files.wordpress.com/2008/09/apostila-comb-inc-florestal-2005-cap-barros.pdf+&hl=pt-R&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESgCj2t9YLi\\_vM6SHSzwSLiXt6A4vLj8krCLi9jr7a4jCEq eukKZUYQE5JcoVjlZ22PXr-RIQPAwUucAYt28YC1WooYd\\_9ci5pnD1qY1JmeMcabcMZIFw3leUc0Huj4rQ3OSJQ&sig=AHIEtbRIzk123AKvu0nPemLkjOfdjHspQw](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:7W9PUD6ZSFMJ:hebertsato.files.wordpress.com/2008/09/apostila-comb-inc-florestal-2005-cap-barros.pdf+&hl=pt-R&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESgCj2t9YLi_vM6SHSzwSLiXt6A4vLj8krCLi9jr7a4jCEq eukKZUYQE5JcoVjlZ22PXr-RIQPAwUucAYt28YC1WooYd_9ci5pnD1qY1JmeMcabcMZIFw3leUc0Huj4rQ3OSJQ&sig=AHIEtbRIzk123AKvu0nPemLkjOfdjHspQw)>. Acesso em: 07 jun. 2012.

RIBEIRO, G. A.; SOARES, R. V. Caracterização do material combustível superficial e efeitos da queima controlada sobre sua redução em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 58-72, 1998.

RODRIGUES, Aline N. C. **Considerações sobre prevenção e combate aos incêndios florestais no Estado do Rio de Janeiro**. 2008. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2008. Disponível em:

<http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2007II/Aline%20Nahanna%20Carneiro%20Rodrigues.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2012.

ROSSA, C. et al. **Comportamento eruptivo de um incêndio florestal e sua análise**. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra. Coimbra, [2004?].

SANTOS, Nilton R. D. **Noções de combate a incêndio florestal de superfície**. 93 f., 2009. Monografia (Curso Tecnólogo em Gestão de Emergências) – Universidade do Vale do Itajaí. São José, SC. 2009.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**. Washington: US Department of Agriculture, Forest Service, 1970. 229 p.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; BRUN, Eleandro José; CALIL, Francine Neves. **Caderno Didático: Cfl 506 - Proteção Florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 98 p. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12\\_Protecao%20florestal%20UFSM%20apostila.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12_Protecao%20florestal%20UFSM%20apostila.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2012.

SOARES, R. V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus spp* na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 48-62, 1979.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985. 213 p.

SOARES, R. V. **Novas tendências no controle de incêndios florestais**. Revista Floresta, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 11-21. 2004.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: UFPR / Centro de Ciências Florestais e da Madeira, 2004. 195 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Curso de especialização por tutoria à distância: combustão da biomassa e propagação dos incêndios**. Brasília: UFPR - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 2006. 35 p. (Vol. 2).

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 2007.

STRUMINSKI, Edson. **Manual para curso de combate a incêndios florestais em montanha**. Federação Paranaense de Montanhismo. Quatro Barras/PR, 2005. Disponível em: <[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:slOQIT5L1v8J:altamontanha.com.br/fepam/arquivos/Curso\\_de\\_combate\\_a\\_Inc%25EAndios\\_Eng\\_Edson\\_Struminski.doc+&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESjJ5L9qZVTvHwOHKG8HZexVM\\_8kbkz7OsZmaJgLia3pyjAodG135VOXDPkPusvt3ef1FsrVbWcIINbZN1\\_DcP7gxF9yif5loZEgXwBzNUU2WX2Lj2oJN8xG1az\\_5wP2hfufVsr&sig=AHIEtbSvQ9-BJiyRByezZdhbtHRZPv0owQ](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:slOQIT5L1v8J:altamontanha.com.br/fepam/arquivos/Curso_de_combate_a_Inc%25EAndios_Eng_Edson_Struminski.doc+&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESjJ5L9qZVTvHwOHKG8HZexVM_8kbkz7OsZmaJgLia3pyjAodG135VOXDPkPusvt3ef1FsrVbWcIINbZN1_DcP7gxF9yif5loZEgXwBzNUU2WX2Lj2oJN8xG1az_5wP2hfufVsr&sig=AHIEtbSvQ9-BJiyRByezZdhbtHRZPv0owQ)>. Acesso em: 02 jun. 2012.

VÉLEZ, R. **La Defensa Contra Incendios Forestales**. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 2000.

VIEGAS, Domingos X. Os acidentes mortais relacionados com os incêndios florestais em Portugal, no verão de 2003. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, p. 257-262, maio/ago. 2004.

VIEIRA, Fernando I. **Combate a incêndio florestal: determinação do Índice de eficiência global de retardantes químicos de curta e de longa duração e avaliação de seus efeitos sobre a redução da intensidade do fogo em vegetação, em condições de laboratório**. 77f., 2011. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.