



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**AVALIAÇÃO E SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO
FOGO NO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE MATA DO
JUNCO, SERGIPE, BRASIL**

MARCUS VINICIUS NORONHA DE OLIVEIRA

2016



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

MARCUS VINICIUS NORONHA DE OLIVEIRA

**AValiação e Simulação do Comportamento do Fogo no Refúgio
de Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Genésio Tâmara Ribeiro

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2016

MARCUS VINICIUS NORONHA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO E SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO NO REFÚGIO
DE VIDA SILVESTRE MATA DO JUNCO, SERGIPE, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2016.

Prof. Dra. Rozimar de Campos Pereira
UFRB/Cruz das Almas

Prof. Dr. Benjamin Leonardo Alves White
UFS/Itabaiana

Prof. Dr. Genésio Tâmara Ribeiro
UFS/São Cristóvão
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*À família, aos amigos e àqueles que ainda
acreditam na bondade e no amor.*
Dedico

AGRADECIMENTOS

Nos últimos anos tenho aprendido que nada em nossas vidas acontece por acaso. Tudo tem uma razão de ser e que sempre devemos olhar o lado bom de todas as coisas. É com esse pensamento que agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, me ajudaram a concluir mais essa etapa profissional da minha vida, em especial:

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e por jamais ter me desamparado. Aos meus pais, pelo imenso esforço realizado ao longo de suas vidas a fim de me proporcionar o acesso à educação de qualidade. Muito obrigado por tudo que fizeram por mim.

Gostaria de agradecer também a minha esposa, por estar sempre do meu lado, mesmo nos momentos de tropeços e dificuldades, por ter tido uma paciência invejável e por me amar plenamente. Izaura, eu vou te amar hoje, amanhã e nas outras vidas que virão.

Tenho uma enorme gratidão pelo meu orientador Genésio, que me acolheu tão bem em seu laboratório e me apoiou na escolha do projeto de dissertação. O senhor é um ser humano fantástico.

Além disso, agradeço imensamente ao apoio dado por Benjamin White para a concretização desse trabalho. Suas sugestões foram de grande valia e seus ensinamentos foram fundamentais para a minha formação profissional. À Larissa White, agradeço pelo auxílio na elaboração dos mapas que aparecem em boa parte desse trabalho. À Flaviane, pelo auxílio com as anotações durante a realização dos experimentos e também pelas fotos.

À SEMARH, agradeço pela licença concedida e pelo apoio durante a realização das coletas, especialmente, com a ajuda de Marcelo Guigó, ambientalista que tenho muita estima e sou grato eternamente pela companhia nos trabalhos de campo.

À Marleno Costa, Renato Faria, Marcus Meiado (Laboratório de Fisiologia Vegetal UFS/Itabaiana) e Dona Celina, pelo apoio em termos de infra-estrutura, os dois primeiros fornecendo-me aparelhos imprescindíveis para as coletas, os dois últimos fornecendo-me o espaço para secagem do material coletado e para a realização das queimas controladas.

Por fim, agradeço a todos que fazem parte do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade – PPGAGRI, pelas oportunidades de aprendizado e de enriquecimento intelectual.

BIOGRAFIA

Possui graduação em Ciências Biológicas Lic. pela Universidade Federal de Sergipe (2010) e pós-graduação *latu sensu* em Docência no Ensino de Ciências (Faculdade Pio-X) e Gestão de Políticas Públicas (UFS). Atualmente é mestrando do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade da UFS e professor efetivo de Biologia na rede estadual de ensino. Tem experiência em áreas como: Ensino de Ciências e Biologia, com ênfase em produção de Recursos Didáticos; Ecologia, com ênfase em Recursos Florestais; e Gestão Ambiental em Unidades de Conservação, junto a órgãos como IBAMA, ICMBio e SEMARH.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
3. CONCLUSÕES GERAIS	26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
5. CAPÍTULO 1: Quantificação do Material Combustível Superficial em Diferentes Fitofisionomias de um Fragmento de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro	31
Resumo.....	31
Abstract	32
5.1. Introdução	33
5.2. Material e Métodos	34
5.3. Resultados e Discussão	41
5.4. Conclusões	47
5.5. Referências Bibliográficas	47
6. CAPÍTULO 2: Avaliação e Simulação do Comportamento do Fogo em Diferentes Fitofisionomias de uma Área de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro	50
Resumo.....	50
Abstract	51
6.1. Introdução	52
6.2. Material e Métodos	53
6.3. Resultados e Discussões	59
6.4. Conclusões	67
6.5. Referências Bibliográficas	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Queima para limpeza de terreno no entorno do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.....	13
2.2	Representação da velocidade de propagação do fogo	18
2.3	Representação esquemática da medição do comprimento das chamas.	19
2.4	Estrutura da utilização do modelo de Rothermel no que diz respeito à previsão do comportamento do fogo (Adaptado de Almeida).....	23
5.1	Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.	35
5.2	Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco (laranja) e localização das usinas de cana-de-açúcar (círculos em vermelho), Capela, Sergipe.	36
5.3	Recorte de uma das áreas de coleta da fitofisionomias Mata Fechada no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.	37
5.4	Detalhe do interior da área de bambuzal abandonado no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.....	37
5.5	Detalhe da Área de Transição (à frente) e da Mata Fechada (atrás) no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.	38
5.6	Gabarito utilizado nas coletas de material combustível superficial.....	39
5.7	Variação da quantidade de material combustível coletado nas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.	42
5.8	Distribuição da carga do material combustível seco obtido nas fitofisionomias de Mata Fechada.....	43
5.9	Teor de umidade médio das classes de material combustível coletadas nas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe..	44
5.10	Distribuição das variáveis climáticas obtidas juntos às fitofisionomias.....	46
6.1	Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.	54
6.2	Fitofisionomias selecionadas para coleta de material combustível. A – Floresta de Tabuleiro (Mata Fechada); B – Pastagens Abandonadas (Bambuzal); C – Vegetação Regenerante (Área de Transição).	55
6.3	Gabarito de PVC utilizado para coleta de material combustível.....	56
6.4	Mesa de combustão utilizada nas simulações de incêndios.....	57
6.5	Croqui da mesa de combustão (esquerda) e detalhe das réguas adaptadas para medição do comprimento das chamas (direita).	57
6.6	Estado do material combustível pós-queima. A – Bambuzal. B – Mata Fechada.	61
6.7	Teor de umidade médio do Material Combustível Morto – MCM nas diferentes fitofisionomias.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
2.1	Relação entre classes de declividade e o risco de incêndio	14
2.2	Classes de material combustível de acordo com o modelo matemático de Rothermel (1972).....	16
5.1	Quantificação do material combustível seco nas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco.	41
5.2	Correlação de Pearson entre o teor de umidade do MS1 nas áreas de coleta e variáveis climáticas.....	45
6.1	Classes de material combustível de acordo com Rothermel (1972).....	56
6.2	Resultados das simulações de incêndios para as três fitofisionomias	60
6.3	Comparação entre os parâmetros do comportamento do fogo avaliados nas distintas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil.....	61
6.4	Comparação entre os parâmetros do fogo, quanto aos valores reais e os softwares avaliados.....	63
6.5	Número de acertos entre os valores obtidos experimentalmente e àqueles simulados pelos <i>softwares</i>	66

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

RVSMJ – Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco
 SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
 UC's – Unidades de Conservação
 USDA – Serviço Florestal Norte-Americano
 EFSS – Eucalyptus Fire Safety System
 MC – Material combustível
 MCS – Material Combustível Seco
 MCV – Material Combustível Vivo
 MS1 – Material Seco da Classe 1
 MS2 – Material Seco da Classe 2
 MS3 – Material Combustível da Classe 3
 MVHerb – Material Vivo Herbáceo
 MVL – Material Verde-Lenhoso
 R – Velocidade de propagação do fogo ($\text{cm} * \text{s}^{-1}$);
 V – Velocidade média do vento ($\text{cm} * \text{s}^{-1}$);
 hv – Altura da vegetação (cm);
 U – Umidade da vegetação (% de peso verde).
 M_t – Umidade do material combustível fino (%).
 FMF – Umidade do material combustível (%);
 RH – Umidade relativa do ar (%).
 Fl – Comprimento das chamas (m);
 I – Intensidade da linha de fogo ($\text{Kcal} * \text{m}^{-1} * \text{s}^{-1}$).
 a, b, c, d – Constantes;
 R – Velocidade de propagação do fogo ($\text{m} * \text{min}^{-1}$);
 M – Umidade do material combustível;
 M_f – Teor de umidade da camada F da liteira (*F-layer*) (%);
 E_{fh} – Altura do material combustível elevado (elevated fuel height).
 F_c – Consumo do material combustível (%);
 F_{db} – Espessura da liteira do chão da floresta pré-fogo em polegadas (*inches*).
 W_{ms1} – Carga do material combustível fino da classe MS1 pré-fogo ($\text{kg} * \text{m}^{-2}$);
 BT – Técnica de queima (queima contra o vento = -1; queima em faixas = a; queima a favor do vento = 1);
 U – Velocidade do vento ($\text{m} * \text{s}^{-1}$);
 T – Temperatura do ar (°C).
 F_{cSURF} – Consumo do material combustível superficial (%);
 F_{cSURF} – Consumo do material combustível superficial (%);
 Sh – Altura de carbonização da casca (cm).
 W_{lf} – Peso do material combustível recém caído ($\text{kg} * \text{ha}^{-1}$);
 Kg – Quilogramas
 m – Metros
 cm – Centímetros
 s – Segundos
 °C – Graus Celcius
 ha – Hectares
 Kcal – Quilocalorias
 KW – Quilowatts
 BTU – Unidade térmica britânica
 ft – pé
 lb – libra

EFSS – Eucalyptus Fire Safety System
BP – BehavePlus

RESUMO

OLIVEIRA-NORONHA, Marcus Vinicius. **Avaliação e Simulação do Comportamento do Fogo no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil.** São Cristóvão: UFS, 2016. 77p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

Os incêndios florestais são um dos problemas ambientais mais graves do mundo atual, sendo originados, principalmente, a partir do mau uso do fogo em atividades agropecuárias. Estudos comprovam que eles têm interferência direta na redução da biodiversidade e na emissão de gases de efeito estufa, além de alterar negativamente a fertilidade do solo. Isso fica ainda mais grave, quando as propriedades agropecuárias fazem fronteira com áreas naturais protegidas. Em Sergipe, remanescentes de Mata Atlântica dividem espaços consideráveis com monoculturas de cana-de-açúcar, nas quais, todos os anos, são realizados processos de queima controlada antes da colheita. Este emprego do fogo é responsável por problemas ambientais todos os anos. Diante disso, pesquisadores têm se dedicado a compreender os principais fatores que contribuem para a maior ocorrência de incêndios florestais, buscando assim, estabelecer mecanismos de predição do comportamento do fogo e, conseqüentemente, estabelecer programas de prevenção mais eficientes. O presente trabalho se insere nessa perspectiva, tendo por objetivo quantificar o material combustível superficial e avaliar o comportamento do fogo em diferentes fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe, gerando assim, conhecimentos importantes para a Ciência, além de informações úteis para a elaboração de um plano operacional de prevenção e combate aos incêndios florestais na região. A área de estudo, com aproximadamente 897 ha, apresenta um relevante interesse ecológico, sob a qual é possível encontrar espécies raras e endêmicas como o *Callicebus coimbrai* (macaco-guigó), ou ainda, nascentes de riachos importantes para o abastecimento da região, como as do Riacho Lagartixo, por exemplo. Como metodologia, foram realizadas incursões a campo de Janeiro a Outubro de 2015, onde foram coletadas 60 amostras de material combustível superficial, classificadas de acordo com o modelo de propagação do fogo estabelecido por Rothermel (1972), em três distintas fitofisionomias: Bambuzal, Mata Fechada e Área de Transição. Também foram mensurados o teor de umidade do material combustível e as variáveis climáticas temperatura e umidade relativa do ar no momento da coleta. Todo o material coletado foi devidamente etiquetado e utilizado para as queimas experimentais. Os dados obtidos foram armazenados em planilhas do Excel 2007 e processados no software JMP 10.0. O comportamento do fogo durante as queimas experimentais foi comparado com simulações utilizando-se os softwares Eucalyptus Fire Safety System 1.0 e o BehavePlus 5.0, a fim de avaliar a eficiência dos mesmos. No total, foram coletados 117,23 Kg de material combustível úmido nos ambientes selecionados para esse estudo, que apresentou teor de umidade médio de 35,40%, o equivalente a uma média de 16,70 t/ha de material combustível seco. As áreas de Bambuzal foram definidas como as mais susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais, sendo estes de elevada intensidade e difícil controle. As Áreas de Transição também apresentaram valores elevados de velocidade de propagação do fogo. No entanto, a baixa carga de material combustível nessas áreas sugere um padrão de incêndios de curta duração. Espera-se que os resultados obtidos através desse trabalho possam contribuir significativamente para o conhecimento de parâmetros inerentes ao comportamento do fogo na área de estudo e, conseqüentemente, para a proteção desse importante fragmento de Mata Atlântica do estado de Sergipe.

Palavras-chave: Incêndios Florestais, Material Combustível, BehavePlus, EFSS.

* Comitê Orientador: Genésio Tâmara Ribeiro – UFS/São Cristóvão (Orientador), Benjamin Leonardo Alves White (co-orientador) – UFS/Itabaiana.

ABSTRACT

OLIVEIRA-NORONHA, Marcus Vinicius. **Characterization and Simulation of Fire Behavior in a Wildlife Refuge Mata do Junco, Sergipe, Brazil.** São Cristóvão: UFS, 2016. 77p. (Thesis - Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Forest fires are one of the most serious environmental problems of today's world, caused, mainly, from the misuse of fire in agricultural activities. Studies show that they have direct influence on the biodiversity reduction and in the increase of greenhouse effect, beside negatively affect soil fertility. The situation is even more serious when the fire reaches conservation areas. In Sergipe, areas of preserved Atlantic Forest share spaces with sugarcane monoculture, in which, every year, control burns are carried out during the harvest procedure. This misuse of fire is responsible for environmental problems every year. Therefore, researchers have been working to understand the main factors that contribute to the higher incidence of forest fires, seeking to better predict the fire behavior and thus, establish more effective fire prevention programs. This work fits in this perspective and has as objective, quantify the surface fuel load and assess the fire behavior in different vegetation types of the Wildlife Refuge Mata do Junco, Capela, Sergipe, thus generating important knowledge for science and useful information for the design of an operational plan to prevent forest fires in the region. The study area with approximately 897 ha, has a relevant ecological interest. Rare and endemic species such as the *Callicebus coimbrai* are present there, as also the Lagartixo river, an important stream that supply water for the region. As methodology, the sampling fieldwork were done from January to October 2015, in three different vegetation types: Bamboo Fields, Closed Forests and Transition Areas, were 60 samples of surface fuel load were collected and classified according to the Rothermel (1972) model. The fuel moisture content and climate variables as air temperature and air relative humidity were also measured during the sampling procedure. All the fuel load collected was properly labeled and used during the experimental burns. All the data were stored in Excel 2007 and processed in the JMP 10.0 software. The fire behavior during the experimental burns was compared with simulations using the software Eucalyptus Fire Safety System 1.0 and the BehavePlus 5.0 in order to evaluate their efficiency. The total fuel load collected weighted 117,23 kg with an average moisture content of 35,40%, equivalent to an average of 16,68 t/ha of dry fuel load. The Bamboo Fields were defined as the vegetation type most susceptible to forest fires occurrence and where the fire is more intense and difficult to control. It is expected that the results from this work can contribute to the knowledge of the fire behavior in the study area and, therefore, to the protection of this important patch of Atlantic Forest in the state of Sergipe.

Key-words: Forest Fires, Fuel Load, BehavePlus, EFSS.

* Supervising Committee: Genésio Tâmara Ribeiro – UFS/São Cristóvão (Orientador), Benjamin Leonardo Alves White (co-orientador) – UFS/Itabaiana.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As Unidades de Conservação (UC's) se tornaram uma das ferramentas de gestão mais importantes para a consolidação de políticas públicas voltadas para as questões ambientais do nosso país. Diante de tamanhas modificações socioambientais que vivemos hoje, elas representam os anseios e as necessidades do homem moderno em preservar recursos biológicos como fauna, flora e recursos hídricos a fim de garantir a sustentabilidade para presentes e futuras gerações.

Essa preocupação fica mais evidente quando o bioma é a Mata Atlântica. Historicamente explorada por diversas atividades econômicas, hoje, esse bioma apresenta apenas alguns remanescentes de florestas desconexos e espalhados ao longo da costa brasileira. No entanto, esses fragmentos ainda resguardam uma grande biodiversidade, caracterizada pela presença de espécies raras e endêmicas, além de nascentes de rios importantes que podem abastecer grandes centros urbanos.

Em Sergipe, vários esforços foram reunidos pelos órgãos ambientais para a conservação dos fragmentos de Mata Atlântica restantes, culminando assim na criação de UC's tanto de uso sustentável, quanto de proteção integral. Uma delas, o Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco – RVSMJ, localizada no município de Capela, região leste do estado. Trata-se de uma área de relevante interesse ecológico, uma vez que abriga a presença de espécies ameaçadas de extinção ou de distribuição restrita, como é o caso macaco – guigó (*Callicebus coimbrai* – Kobayashi e Langguth, 1999). Além disso, protege as nascentes do Riacho Lagartixo, o qual auxilia no abastecimento municipal de água de Capela.

Entretanto, assim como em outras partes do país, as Unidades de Conservação no estado de Sergipe sofrem com a ocorrência de incêndios florestais causados pela ação antrópica. Geralmente, queimadas para limpeza do terreno realizadas na zona de amortecimento dessas unidades, acabam fugindo do controle, originando os incêndios florestais. Esse cenário é semelhante ao que acontece na Mata do Junco, onde, todos os anos,

são realizadas queimas em plantações de cana-de-açúcar as quais colocam em risco à biodiversidade local.

Apesar de todos os esforços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, como a formação de brigada voluntária com agentes das comunidades do seu entorno e a elaboração de um plano de manejo, a unidade ainda não possui um Plano Operacional de Prevenção e Controle de Incêndios Florestais.

Este estudo teve a proposta de classificar e quantificar o material combustível disponível nas diferentes fitofisionomias da região para que seja possível identificar áreas que ofereçam maior perigo à ocorrência de incêndios florestais. Além disso, buscar-se-á através de queimas experimentais descrever parâmetros do comportamento do fogo (velocidade de propagação, comprimento das chamas, consumo do material combustível e intensidade da linha de fogo) em cada uma das fitofisionomias, a fim de servirem de subsídio para o delineamento específico de operações de combate ao fogo.

Simulações utilizando *softwares* como o BehavePlus 5.0 e o Eucalyptus Fire Safety System 1.0 serão realizadas para verificar a eficiência dos mesmos, no que diz respeito à predição do fogo.

Por fim, o trabalho se insere na perspectiva de colaborar com a gestão da unidade, gerando dados que auxiliem no desenvolvimento e no aprimoramento de atividades de prevenção, combate e controle dos incêndios florestais, protegendo, assim, um importante remanescente de Mata Atlântica sergipano.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Incêndios Florestais: a problematização

Não é de hoje que o fogo se tornou uma ferramenta presente em diversas atividades humanas. Registros do seu uso pelos nossos antepassados datam de milhares anos e ao longo de toda história da humanidade, seja para a caça, limpeza de terrenos, aberturas de pastagens, entre outros, de alguma forma, ele sempre se fez presente (AXIMOFF; RODRIGUES, 2011).

No Brasil, o processo de colonização sob o qual fomos submetidos, alterou progressivamente as paisagens naturais através do uso do fogo, reduzindo significativamente áreas de florestas naturais como a Mata Atlântica, por exemplo, e toda a sua fauna associada (RIBEIRO, 2000). Todos os anos, milhares de hectares de terras são acometidos por esse problema, com destaque para o bioma Cerrado, onde a combinação da expansão da fronteira agrícola da soja com as condições climáticas locais fazem desta região do país, uma das mais atingidas por incêndios florestais (PEREIRA *et al.*, 2004).

Em Sergipe, os incêndios florestais e a consequente perda de ecossistemas naturais também são freqüentes. Todos os anos, o Parque Nacional Serra de Itabaiana, por exemplo, sofre com perdas significativas de sua vegetação por conta de incêndios que têm no cerne da sua origem ações antrópicas diversas (SOBRAL *et al.*, 2007). White *et al.*, (2014), realizaram um trabalho nessa UC, com o objetivo de quantificar o seu material combustível superficial em diferentes formações vegetais, dessa forma, puderam identificar um histórico recorrente desse tipo de problema na região, resultando, assim, na destruição de diferentes forma de vida e de locais passíveis ao ecoturismo.

Sendo assim, para o desenvolvimento de novas técnicas e medidas que visem à redução de incêndios florestais é essencial conhecer quais os parâmetros que influenciam na sua ocorrência e propagação. Dessa maneira, pesquisadores do mundo inteiro têm se empenhado, principalmente nos últimos 60 anos, na definição de cada um dos parâmetros e o

seu grau de influência (CHENEY, 1968; BROWN; DAVIS, 1973; SOARES, 1985; BEUTLING, 2005).

2.2 Risco e Perigo

Diante dos danos ambientais crescentes, causados pelos incêndios florestais, muitos trabalhos têm sido realizados com o intuito de determinar índices de perigo e mapas de zoneamento de risco ambiental, tanto para áreas de silvicultura quanto para áreas naturais protegidas (RIBEIRO *et al.*, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2011; SANTANA *et al.*, 2011; TETTO *et al.*, 2012).

No entanto, é comum haver distorções no uso correto dessas palavras. Isso se deve, principalmente, à multiplicidade de sentidos que cada área do conhecimento humano proporciona (JR.; HOGAN, 2004). De acordo com Sanders e McCormick (1993), é possível defini-los como sendo:

- *Perigo*: atividade potencialmente danosa que pode desencadear problemas de saúde, ferimentos, danos às propriedades ou ao meio ambiente, lesão e morte.
- *Risco*: diz respeito a um valor probabilístico de um dado evento catastrófico ocorrer. É um resultado medido do efeito potencial do perigo.

Para Brüseke (1997), o risco ambiental não deve ser considerado com um fato exato e premeditado, segundo este autor:

O risco não expressa uma corrente de determinações que conduzam necessariamente a um resultado prognosticado. Por isso, falar sobre riscos, no campo ambiental, tem sempre o caráter de um alerta que mobiliza argumentativamente a imaginação de movimentos lineares que levam impreterivelmente à catástrofe, ou pelo menos, a um dano irreparável, se... Se nós não fizermos alguma coisa (BRÜSEKE, 1997, p.124-125).

2.3 Agentes causadores dos incêndios florestais

Os incêndios florestais podem ter origem natural ou antrópica. A única causa natural de incêndios florestais são os raios, que, segundo Soares e Batista (2007), representam uma porcentagem muito pequena da ocorrência de incêndios no Brasil (1,0%). As causas de natureza antrópica são apresentadas a seguir (SANTOS, 2004; SANTOS *et al.*, 2006):

- a) Incendiários - incêndios provocados, intencionalmente, por pessoas em propriedades alheias, sejam por vingança ou problemas mentais.
- b) Queimas para limpeza - incêndios originários do uso do fogo durante a limpeza de terreno para fins florestais, agrícolas ou pecuários, e que tenham escapado ao controle e atingido áreas florestais.
- c) Fumantes - incêndios provocados por fósforos ou pontas de cigarro aceso.
- d) Fogos de recreação - incêndios causados por pessoas que acendem fogueiras nos campos e florestas, mas não tomam o devido cuidado de apagar corretamente o fogo ao deixarem o local.
- e) Operações florestais - incêndios originados por trabalhadores florestais em atividade na floresta. Exemplo: atividades de colheita.
- f) Estradas de ferro – Incêndios originados a partir do atrito entre o trilho e as rodas do trem.
- g) Diversos – Outras formas que ocasionalmente acabam gerando incêndios florestais.

2.4 Fatores que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais

Diversos fatores podem ter influência direta no desencadeamento de um incêndio florestal. Entre eles, é possível citar atividades humanas com a agricultura e a pecuária, o relevo do terreno, o tipo de material combustível e o seu teor de umidade, além de variáveis climáticas como a pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar e velocidade dos ventos.

A seguir, elencamos cada um desses fatores para melhor compreensão da dinâmica que envolve os incêndios florestais.

2.4.1 Agropecuária

Em se tratando deste aspecto é preciso deixar claro que não é de hoje que as áreas naturais do nosso país são modificadas por atividades econômicas. Estudos apontam que desde a época dos colonizadores portugueses as florestas brasileiras sofrem algum tipo de impacto. No caso da Mata Atlântica, por exemplo, isso se acentuou, principalmente, devido

aos ciclos da cana-de-açúcar e do café, além da construção das principais metrópoles do país (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006).

No caso do fogo, aparentemente ele sempre esteve presente nessas atividades, desde os tempos mais remotos da humanidade para a limpeza de terrenos, ocupando, assim, uma posição fundamental na mudança das fisionomias naturais que encontramos nos dias de hoje (OLIVEIRA, 2007).

Atualmente, as discussões acentuadas a respeito das mudanças climáticas que o planeta tem enfrentado, colocam ambientalistas e produtores rurais do mundo inteiro frente a frente em um debate para a busca de alternativas sustentáveis (COELHO; MELO, 2010). Uma delas diz respeito à limpeza das áreas de colheita, removendo a maior parte do material combustível, antes da sua queima. A queima controlada, como é conhecida, evita a propagação do fogo para áreas de floresta e reduz as ameaças à biodiversidade brasileira.

Nesse sentido, crescem os estudos com aceiros não naturais os quais se utilizam de produtos químicos supressante de fogo. Ribeiro *et al.*, (2006), por exemplo, avaliaram a eficiência de um retardante químico chamado *phos-chek* de longa duração na redução da propagação do fogo. Os resultados mostraram-se satisfatórios numa dosagem de 1.200 mL/m², onde a linha de fogo demorou cerca de 25 vezes mais tempo para queimar o material combustível dentro das parcelas que continham este produto. Estudos como esse podem se tornar alternativas viáveis e amplamente utilizadas para o meio florestal, nas unidades de conservação e nas rodovias.

No entanto, apesar de todos os esforços dos órgãos ambientais e pesquisadores do país, problemas como esse ainda são recorrentes. No Distrito Federal, por exemplo, Costa *et al.*, (2009), realizaram um estudo para avaliar aspectos que envolvem o uso do fogo no entorno da Estação Ecológica de Águas Emendadas e encontraram algumas áreas mais propensas, uma vez que elas estavam situadas às margens de rodovias e estradas vicinais, as quais, devido à proximidade com a zona urbana, eram muito utilizadas para a queima de lixo.

No Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco essa situação não é diferente (Malta, 2011). Durante as coletas de dados para a realização deste trabalho foi possível observar a prática da queima tanto para a queima de rejeitos quanto para a limpeza do terreno (Figura 1).



Figura 1. Queima para limpeza de terreno no entorno do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. **Foto:** Marcus Noronha.

Medeiros e Fiedler (2004) avaliaram o perfil dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra a fim de fornecer subsídios para proteção da unidade. Eles perceberam que a maior parte dos incêndios ocorridos na região era de origem humana e criminosa. De igual forma, França e Setzer (1999) afirmam que os incêndios ocorridos no Parque Nacional das Emas nunca tiveram causas naturais, ao contrário, eles sempre começavam nas propriedades circunvizinhas.

2.4.2 O relevo e sua influência na propagação do fogo

Um dos fatores que possui influência direta na propagação do fogo durante os incêndios florestais é a inclinação do relevo. Pyne (1984) e Whelan (1998) apontam que em situações de aclive, quanto maior o grau de inclinação de um terreno maior será a velocidade de propagação do fogo. Isso acontece porque se formam curvas de convecção entre as correntes de ar quente formadas pelo fogo, as quais sobem em direção ao topo, e as correntes de ar frio, que são mais densas e se acumulam na parte inferior da montanha (SOARES; BATISTA, 2007).

De fato, a inclinação do relevo pode ser utilizada como parâmetro para compreender o comportamento do fogo e estabelecer programas de risco aos incêndios florestais. Foi o que fez Soares (1985), onde seu trabalho relacionou a declividade com o risco de incêndio florestal, conforme ilustra a tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1. Relação entre classes de declividade e o risco de incêndio. **Fonte:** Venturi e Antunes (2007).

Declividade em %	Risco	Peso
0 a 15	Baixo	1
16 – 25	Médio	2
26 – 35	Alto	3
36 – 45	Muito alto	4
> 46	Extremo	5

Já Venturi e Antunes (2007), realizaram um trabalho que associou a inclinação do terreno com fatores relacionados às ações antrópicas e à vulnerabilidade do ambiente, para criar um mapa de risco de incêndios florestais em uma área do estado do Paraná conhecida como Telêmaco Borba, onde são desenvolvidas atividades de silvicultura. O estudo realizado por estes autores possibilitou determinar a escolha de locais estratégicos para implantação de torres de vigilância que auxiliam na detecção de possíveis focos de incêndios.

2.4.3 Material combustível florestal

Entende-se por material combustível qualquer substância ou composto que seja propenso a entrar em combustão (BATISTA, 1990). De acordo com Soares e Batista (2007), a quantidade de material combustível em uma determinada floresta pode variar de acordo com o tipo, o espaçamento e a idade da vegetação. Ele ressalta ainda que a estimativa da quantidade de combustível seja fator determinante para planos de prevenção e controle de incêndios, especialmente, em atividades que envolvem a queima controlada.

O teor de umidade existente em cada tipo de material combustível (galhos, folhas, troncos, gramíneas, húmus, etc.), aliado à proporção do material entre vivo ou seco é que determina a disponibilidade do mesmo entrar ou não em processo de combustão (BATISTA, 1990). Para Rego e Botelho (1990), essa disponibilidade pode ser alterada a qualquer

momento, dependendo da época do ano, do estrato vegetal coletado, do tempo atmosférico e da intensidade do fogo.

2.4.4 Clima X Incêndios Florestais

Além das características intrínsecas do material combustível, as variáveis climáticas também influenciam os processos de ignição e propagação de incêndios. Ao analisar a precipitação pluviométrica de uma região, por exemplo, devemos levar em consideração não apenas a quantidade de chuvas, mas também a sua distribuição ao longo do ano, onde, geralmente, locais com chuvas mais uniformes e estações secas indefinidas, são menos propensos a desencadear incêndios do que aqueles que apresentam chuvas concentradas em determinados meses do ano e um período muito seco no outro (SCHROEDER; BUCK, 1970; PYNE, 1984).

White e Ribeiro (2011), por exemplo, ao analisar a existência ou não de correlação entre a precipitação pluviométrica e a ocorrência de incêndios no Parque Nacional Serra de Itabaiana definiram que existe uma correlação significativa e negativa ($r = -0,61$ / $p = 0,03$) entre a precipitação e a quantidade de incêndios.

Já segundo Torres *et al.*, (2011), em um trabalho que correlacionou elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais numa área urbana de Juiz de Fora – MG, a umidade relativa do ar foi o elemento que obteve a correlação mais significativa entre todos os resultados. Os autores sugerem ainda que a análise de elementos climáticos isolados pode não ter qualquer correlação com os incêndios, sendo assim, deve-se incentivar o uso de modelos que agrupem tais elementos para uma aferição mais precisa (WHITE *et al.*, 2014).

2.3 Modelagem do comportamento do fogo

O comportamento do fogo apresentado até aqui sofre a influência de diversos fatores, dessa forma, a elaboração de modelos matemáticos e computacionais que auxiliem na investigação da propagação dos incêndios florestais é mais do que justificada, uma vez que estes instrumentos podem subsidiar ações de prevenção e combate (CERAPIÁ, 2006).

No âmbito da prevenção, modelos de propagação do fogo podem ser utilizados para a formação de brigadistas e guardas florestais; identificar pontos vulneráveis aos incêndios nas florestas; determinar o uso planejado dos recursos do solo; além de estabelecer mecanismos mais adequados para a queima controlada de determinadas atividades agropecuárias (ANDRÉ; VIEGAS, 2001a; 2002b).

No entanto, segundo André e Viegas (2001), são as atividades de combate que representam o maior desafio para os pesquisadores que trabalham com essa temática. Isso se deve ao fato de que essas situações exigem muitas informações detalhadas de entrada do leito combustível da floresta.

Por conta disso, têm-se utilizados modelos de propagação já existentes, principalmente de caráter local, para tomada de decisões. Dentre eles, o trabalho de Rothermel (1972) é o mais aceito e citado até os dias de hoje (Tabela 2), servindo inclusive de base para a construção de softwares como o BEHAVE, posteriormente denominado de BEHAVEPLUS, e o FARSITE (BURGAMAN; ROTHERMEL, 1984).

Tabela 2. Classes de material combustível superficial de acordo com o modelo matemático de Rothermel (1972).

Categoria	Classes	Descrição
Material Combustível Seco – MCS	Material Combustível Seco 01 – MS1	Materiais com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm;
	Material Combustível Seco 02 – MS2	Materiais com diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm;
	Material Combustível Seco 03 – MS3	Materiais com diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm;
Material Combustível Vivo – MCV	Material Combustível Herbáceo – MVHerb	Materiais vivos não lenhosos de caule fino e flexível, com aspecto de erva;
	Material Combustível Lenhoso - MVL	Inclui a folhagem viva e pequenos ramos da planta com diâmetro inferior a 0,7 cm;

**Os materiais combustíveis devem ser coletado até uma altura máxima de 1,80 m. Materiais combustíveis secos e vivos com diâmetro superior a 7,6 cm e 0,7 cm, respectivamente, não são utilizados nesse modelo.*

Na Reserva Ecológica do Roncador, por exemplo, no cerrado brasileiro, foi realizado um estudo que utilizou tanto o BEHAVE quanto o FARSITE para avaliar o comportamento do fogo em diferentes pontos de entrada da unidade de conservação. Os resultados apontaram

que a probabilidade de ocorrer incêndios em determinado ponto está relacionado com o tipo de material combustível encontrado, como no caso de gramíneas invasoras da espécie *Melinis minutiflora* que contribuiu significativamente para a disseminação do fogo (MISTRY; BERARDI, 2005). Em Sergipe, apesar de o estado possuir áreas florestais de relevante interesse ecológico, poucos trabalhos foram realizados com essa finalidade (WHITE *et al.*, 2013).

Outro ponto que intriga os pesquisadores é que muitos desses modelos de predição do fogo foram elaborados em contextos climáticos totalmente diferentes do Brasil, no caso do BEHAVE, por exemplo, trata-se de um programa desenvolvido na América do Norte pelo Serviço Florestal Norte-Americano – USDA. Mesmo dentro de um país como o Brasil é possível se verificar variações muito grandes tanto no tipo de vegetação e quanto no clima de cada região (WHITE *et al.*, 2013).

Diante disso, pesquisadores como White *et al.* (2014), propuseram a criação de softwares genuinamente brasileiros e que sejam mais condizentes com a realidade local. No referido caso, o pesquisador desenvolveu um programa computacional intitulado de Eucalyptus Fire Safety System – EFSS versão 1.0, para avaliar alguns parâmetros inerentes ao comportamento do fogo em liteira de eucalipto.

Dentre os parâmetros do comportamento do fogo avaliados e comumente utilizados para o delineamento de atividades de combate, pode-se citar:

- **Velocidade de propagação do fogo**

Soares e Batista (2007) apontam que ela representa a taxa de propagação linear do fogo ao longo de uma distância específica sob determinado tempo, podendo variar de acordo com o tipo de vegetação local (Figura 2).

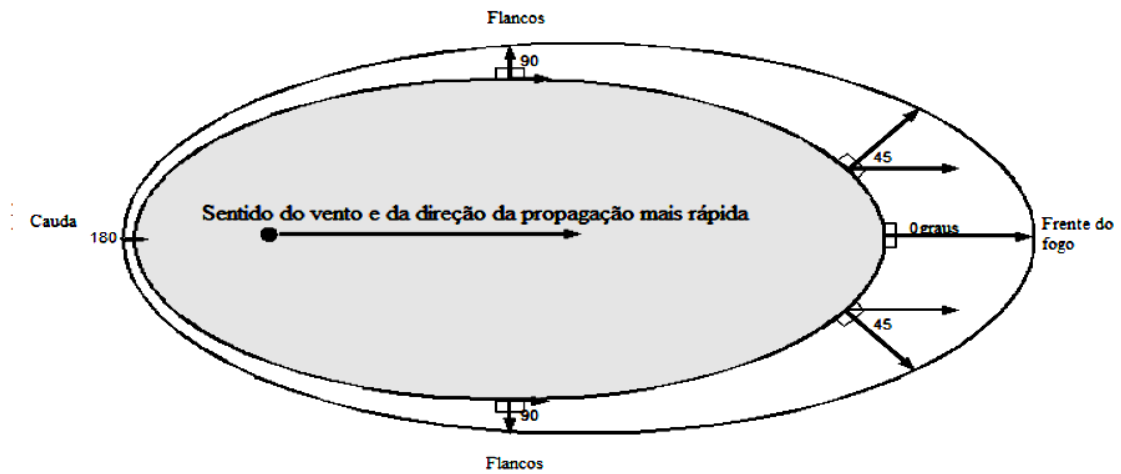


Figura 2. Representação da velocidade de propagação do fogo.
Fonte: Adaptado de Scott, 2012.

Segundo Trabaud (1979), em uma vegetação arbustiva a velocidade de propagação é representado por:

$$r = \frac{5,72 * V^{0,4} * hv^{0,352}}{U^{1,12}}$$

Onde,

R = velocidade de propagação do fogo (cm * s⁻¹);

V = velocidade média do vento (cm * s⁻¹);

hv = altura da vegetação (cm);

U = umidade da vegetação (% de peso verde).

De acordo com MacArthur (1962), para eucaliptos australianos é possível representá-la por:

$$R = 0,22 * \exp (0,158 V_{1,5} - 0,227 M_t)$$

Onde,

R = velocidade de propagação do fogo (m * min⁻¹);

V = velocidade do vento no interior da floresta a 1,5 m de altura (m * min⁻¹);

M_t = umidade do material combustível fino (%).

Já para Bidwell e Engle (1991), em vegetações de campo no EUA:

$$R = 0,07 * 0,05 FMF - 0,004 RH$$

Onde,

R = velocidade de propagação do fogo (m * min⁻¹);

FMF = umidade do material combustível (%);

RH = umidade relativa do ar (%).

- **Comprimento das chamas**

É considerada como a distância entre a ponta das chamas e a zona ativa do fogo, tendo influência direta da espessura do leito, da umidade do material combustível e da velocidade do vento (Figura 3). Quando a inclinação das chamas é $\geq 45^\circ$ a altura (H) é igual ao comprimento (L) das chamas (SOARES; BATISTA, 2007).

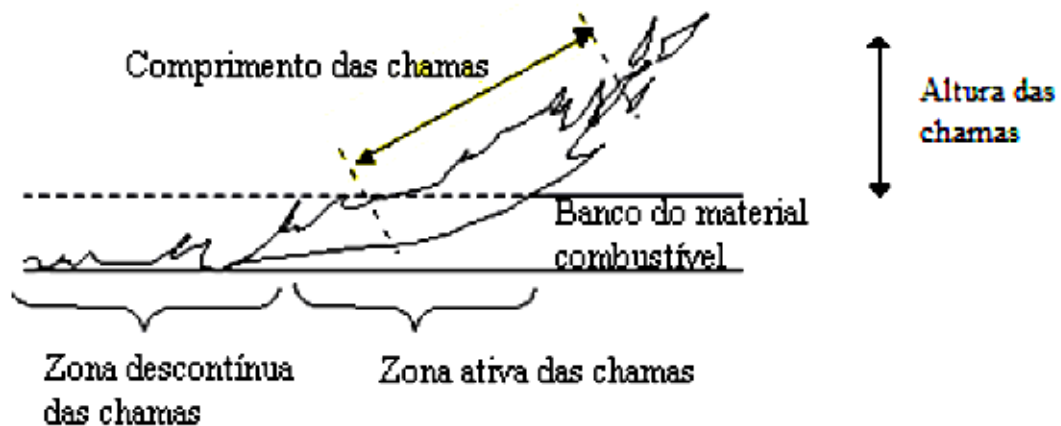


Figura 3. Representação esquemática da medição do comprimento das chamas.

Fonte: Adaptado de Andrews, 2008.

Pode ser calculada sob vários aspectos:

$$Fl = 0,20 * I^{\frac{2}{3}}$$

(THOMAS, 1963)

Onde,

Fl = comprimento das chamas (m);

I = Intensidade da linha de fogo (Kcal/m/s).

$$Fl = aR^b * \exp (cM + dMf)$$

Onde,

(FERNANDES, 2009)

Fl = comprimento das chamas (m);

a, b, c, d = constantes;

R = velocidade de propagação do fogo ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$);

M = umidade do material combustível;

Mf = teor de umidade da camada F da liteira (*F-layer*) (%);

$$Fl = 0,0193 * R^{0,723} * \exp(0,64 * Ef_h)$$

(GOULD *et al.*, 2007)

Onde,

Fl = comprimento das chamas (m);

R = velocidade de propagação do fogo;

Ef_h = altura do material combustível elevado (elevated fuel height).

$$Fl = 0,059 * I_B^{0,53}$$

(DUPUY *et al.*, 2011)

Onde,

Fl = comprimento das chamas (m);

I = intensidade da linha de fogo de Byram (kcal/m/s).

- **Consumo do material combustível**

Diz respeito à quantidade de material combustível que foi consumido pelas chamas durante a ocorrência de um incêndio florestal, sendo, portanto, um parâmetro essencial para a realização de queimas controladas (BROWN *et al.*, 1985).

Os principais modelos para o cálculo do consumo do material combustível florestal são:

$$Fc = 37,37 = 0,75M + 21,19 Fdb$$

(HARRINGTON, 1987)

Onde,

F_c = consumo do material combustível (%);

M = teor de umidade do material combustível;

F_{db} = espessura da liteira do chão da floresta pré-fogo em polegadas (*inches*).

$$F_{cl} = -0,041 + 0,654W_{ms1} - 0,066BT - 0,66U + 0,009T$$

(BOTELHO *et al.*, 1994)

Onde,

F_{cl} = consumo da liteira (%);

W_{ms1} = carga do material combustível fino da classe MS1 pré-fogo (kg/m²);

BT = técnica de queima (queima contra o vento = -1; queima em faixas = a; queima a favor do vento = 1);

U = velocidade do vento (m/s);

T = temperatura do ar (°C).

$$F_{cSURF} = \frac{1}{(1 + \exp(-(4,046 - 0,077 * M_{ms1})))}$$

(FERNANDES e LOUREIRO, 2013)

Onde,

F_{cSURF} = consumo do material combustível superficial (%);

M_{ms1} = umidade do material combustível da classe MS1 (%).

- **Intensidade da linha de fogo**

É a energia ou calor liberado durante um incêndio por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo. Os principais modelos matemáticos para o cálculo da intensidade da linha de fogo são:

$$I_B = H * W * R$$

(BYRAM, 1959)

Onde,

I_B = intensidade da linha do fogo de Byram (Btu/s/ft);

H = poder calorífico do material combustível (Btu/lb);

W = quantidade de material combustível disponível (lb/ft²);

R = velocidade de propagação do fogo (ft/s).

$$I = -187,49 + (23,93 * Sh)$$

(DE RONDE *et al.*, 1990)

Onde,

I = intensidade da linha de fogo (kw/m);

Sh = altura de carbonização da casca (cm).

$$I = -2274 + 0,39Wlf + 24M$$

(BIDWELL E ENGLE, 1991)

Onde,

I = intensidade da linha de fogo (kw/m);

Wlf = peso do material combustível recém caído (kg/ha);

M = umidade do material combustível morto (%).

$$I = -33,7 + 1,71 * Hcb$$

(BATISTA *et al.*, 1993)

Onde,

I = intensidade da linha do fogo (kw/m);

Hcb = altura de carbonização da casca (cm).

- **Modelos matemáticos utilizados pelos softwares**

✓ *BEHAVE e BEHAVEPLUS*

O sistema BEHAVE e BEHAVEPLUS foi produzido baseando-se nos modelos matemáticos definidos por Rothermel (1972) para a propagação do fogo superficial. Dessa forma, é possível encontrar nesses modelos, variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*) (Figura 4).

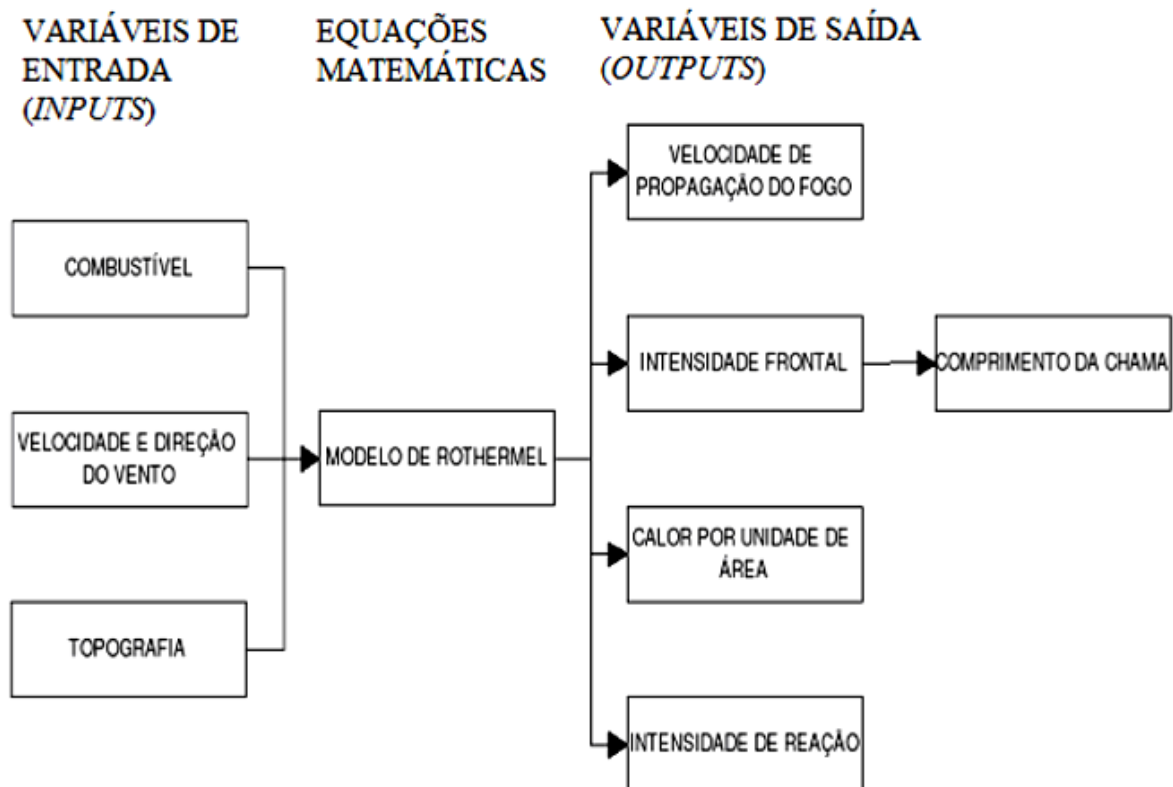


Figura 4. Estrutura da utilização do modelo de Rothermel no que diz respeito à previsão do comportamento do fogo (Adaptado de Almeida, 2008).

Com relação à velocidade de propagação do fogo superficial, o BEHAVEPLUS considera que as condições do clima, topografia e combustíveis são constantes e se utiliza da seguinte equação:

$$R = \frac{I_R * \xi * (1 + \varphi_s + \varphi_W)}{\rho_b * \varepsilon * Q_{ig}}$$

Onde:

R = Velocidade de propagação (ft/min);

I_R = Intensidade de Reação (Btu/ft²/min);

ξ = Taxa de Fluxo de propagação sem vento;

φ = Coeficiente de declividade;

φ_w = Coeficiente do vento;

ρ_b = Densidade do material seco (lb/ft³);

ε = Calor de pré-ignição (Btu/lb);

Já a intensidade da linha de fogo é obtida através da seguinte equação:

$$I = I_R * t_r * R$$

Onde:

I = Intensidade da Linha do Fogo (kW/m/s);

I_R = Intensidade de reação (kW/m²);

t_r = Tempo de residência da chama (s);

R = Velocidade de propagação (m/s).

Por último, o comprimento das chamas é definido por Byram (1959) como sendo:

$$F_L = 0.45 I_B^{0.46}$$

Onde:

F_L = Comprimento das chamas (m);

I_B = Intensidade da Linha do Fogo de Byram (kcal/m/s).

✓ *Eucalyptus Fire Safety System*

Neste *software* a velocidade de propagação das chamas foi obtida a partir da seguinte equação:

$$R = e^{(-0,385 - 0,016 * Bd - 0,048 * Mms1 + 0,172 * U)}$$

Onde:

R = Velocidade de propagação do fogo (m/min);

e = Base dos logaritmos naturais (2,718...);

Bd = Densidade do leito (kg/m^3);

$Mms1$ = Umidade do material combustível da classe MS1 (%);

U = Velocidade do vento (km/h).

Já o comprimento das chamas é representado por:

$$Fl = 0,428 + 7,397 * Fbd - 0,019 * Mms1 + 0,027 * U$$

Fl = Comprimento das chamas (m);

Fbd = Espessura do leito (m);

$Mms1$ = Umidade do material combustível da classe MS1 (%);

U = Velocidade do vento (km/h).

No que diz respeito à intensidade da linha de fogo, o *software* se utiliza tanto do modelo de Byram (1959), mencionado anteriormente (ver página 21), quanto de um modelo alternativo, o qual é apresentado a seguir:

$$Fl = 0,202 + 0,024 * \sqrt{I_B} + 3,63 * Fbd - 0,006 * Mms1$$

Onde:

Fl = Comprimento das chamas (m);

I_B = Intensidade da Linha do Fogo medida pela equação de Byram (1959) (kW/m/s);

Fbd = Espessura do leito (m);

$Mms1$ = Umidade do material combustível da classe MS1 (%).

Por fim, o modelo construído e inserido no software para o cálculo do consumo do material combustível é representado por:

$$Fc = 127,173 + 3,269 * Wms1 - 0,603 * Bd - 3,651 * Mms1$$

Onde:

Fc = Consumo do material combustível das classes MS1 e MS2 (%);

$Wms1$ = Carga do material combustível da classe MS1 (t/ha);

Bd = Densidade do leito (kg/m^3);

$Mms1$ = Umidade do material combustível da classe MS1 (%).

3. CONCLUSÕES GERAIS

A compreensão dos fatores que permeiam os incêndios florestais é muito dinâmica e heterogênea. A depender do tipo de formação vegetal que estejamos trabalhando, a quantidade e o teor umidade do material combustível mudam completamente, por exemplo. Como consequência disso, dentro de um mesmo bioma tem-se padrões de comportamento do fogo diferenciados.

Variáveis climáticas também desempenham papel importante na propagação dos incêndios florestais. Juntos, eles podem determinar o maior ou o menor risco/perigo de ocorrer problemas dessa natureza numa determinada região.

Trabalhos de modelagem do comportamento do fogo são muito úteis para elaboração de planos operativos de prevenção e combate aos incêndios florestais, especialmente, em unidades de conservação da natureza.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. M. **Modelo de propagação do fogo em incêndios de superfície baseado no Método Nodal**. 2008, 112 f. Dissertação (Pós-Graduação em Computação Aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

ANDRÉ, J. C. S.; VIEGAS, D. X. Modelos de propagação de fogos florestais: estado da arte para utilizadores. Parte I: Introdução e Modelos Locais. **Silva Lusitana**, v.9, n.2, p.237-265, 2001a.

ANDRÉ, J. C. S.; VIEGAS, D. X.; Modelos de propagação de fogos florestais: estado da arte para utilizadores. Parte II: Modelos Globais e Sistemas Informáticos. **Silva Lusitana**, v.10, n.2, p.217-233, 2002b.

ANDREWS, P. L. **BehavePlus fire modeling system, version 4.0**: Variables. USDA Forest Service, Ogden, 2008. 108p. (General Technical Report RMRS-GTR-213WWW)

AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. de C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, p.83-92, 2011.

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Imprensa Universitária - UFRPE, 1990. 115p.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v.30, n.1/2, p.45-54, 2000.

BATISTA, A. C.; LIMA, G. S.; SOARES, R. V. Altura de carbonização da casca das árvores como estimador da intensidade do fogo em queima controlada. In: VII Congresso Florestal Brasileiro e I Congresso Florestal Panamericano. **Anais...** Curitiba: SBS-SBEF, p.169-171, 1993.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamento de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

BIDWELL, T. G.; ENGLE, D. M. Behavior of headfires and backfires on tallgrass prairie. In: International Symposium fire and environment: Ecological and cultural perspectives. **Proceedings...** Asheville: USDA Forest Service, p.344-350, 1991.

BOTELHO, H. S.; VEGA, J. A.; FERNANDES, P. M.; REGO, F. M. C. Prescribed fire behavior and fuel consumption in northern Portugal and Galiza Maritime Pine stands. In: II International Conference in Forest Fire Research. **Proceedings...** Coimbra, p.343-353, 1994.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. New York, McGraw-Hill, 2^o Ed., 1973. 686p.

BROWN, J. K.; MARSDEN, M. A.; RYAN, K. C.; REINHARDT, E. D. **Micting Duff and Woody Fuel Consumed by Prescribed Fire in the Northern Rocky Mountains**. USDA Forest Service, 1985. (Research Paper INT-337).

BURGAN, R. E.; ROTHERMEL, R. C. **BEHAVE**: fire behavior prediction and fuel modeling system – fuel subsystem. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, 1984. 126p.

BYRAM, G. M. Combustion of Forest Fuels. In: Davis, K. P. (ed.) **Forest Fire: Control and Use**, McGraw-Hill. New York, p.61-89, 1959.

BRÜSEKE, F. J. Risco e contingência. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v.22, n.63, p.69-80, 1997.

CAMPANILI, M.; PROCHNOW, M. **Mata Atlântica – uma rede pela floresta**. Brasília: RMA, 2006. p.20-28.

CERAPIÁ, V. R. **Predição do Índice de Risco de Incêndio e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Floresta da Tijuca**. 2006. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CHENEY, N. P. Predicting fire behavior with fire danger tables. **Australian Forestry**, v.32, n.2, p.71-79, 1968.

COELHO, C. J. H.; MELO, M. das D. de V. C. A parceria entre a AMANE e o PDA/MMA na capacitação em gestão participativa de unidades de conservação na Mata Atlântica do Nordeste. In: COELHO, C. J. H.; MELO, M. das D. de V. C. (eds.). **Saberes e Fazeres da Mata Atlântica do Nordeste**. Recife: AMANE, 2010. p.21-28.

COSTA, E. P.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação – Estudo de caso na Estação Ecológica de Água Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v.19, n.2, p.195-206, 2009.

DE RONDE, C.; GOLDAMMER, J. G.; WADE, D. D.; SOARES, R. V. Prescribed fire in industrial plantations. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.) **Fire in the tropical biota - Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin, Springer-Verlag, p.216-272, 1990. (Ecological Studies, v.84).

DUPUY, J. L.; MARÉCHAL, J.; PORTIER, D.; VALETTE, J. C. The effects of slope and fuel bed width on laboratory fire behaviour. **International Journal of Wildland Fire**, v.20, n.2, p.272-288, 2011.

FERNANDES, P. A. M. Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behaviour: a maritime pine case study. **Canadian Journal of Forest Research**, v.39, p.2529-2535, 2009.

FERNANDES, P. A. M.; LOUREIRO, C. Fine fuels consumption and CO₂ emissions from surface fire experiments in maritime pine stands in northern Portugal. **Forest Ecology and Management**, v.291, p.344-356, 2013.

FRANÇA, H.; SETZER, A. A história do fogo no Parque das Emas. **Ciência Hoje**, v.26, n.153, p.69-73, 1999.

GOULD, J. S.; MCCAOW, W. L.; CHENEY, N. P.; ELLIS, P. F.; KNIGHT, I. K.; SULLIVAN, A. L. **Project Vesta-Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel Dynamics and Fire Behaviour**. Ensis-CSIRO, Canberra ACT, and Department of Environment and Conservation. Perth, WA, 2007, 218p.

HARRINGTON, M. **Predicting Reduction of Natural Fuels by Prescribed Burning Under Ponderosa Pine in Southeastern Arizona**. USDA Forest Service, 1987. (Res. Note RM-472).

JR, M. E.; HOGAN, D. J. Natural Hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, v.3, n.2, p.95-110, 2004.

MALTA, J. A. O.; SOUZA, H. T. R De; SOUZA, R. M. e. A contraditória relação sociedade-natureza em espaços territoriais protegidos – Mata do Junco, Capela/SE. **Geografia em Questão**, v.4, n.1, p.127-152, 2011.

- McARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypt forest**. Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, v.80, 1962. 31p.
- MEDEIROS, M. B. de; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.157-168, 2004.
- MISTRY, J.; BERARDI, A. Assessing Fire Potential in a Brazilian Savanna Nature Reserve. **Biotropica**, v.37, n.3, p.439-451, 2005.
- OLIVEIRA, R. R. de. Mata Atlântica, Paleoterritórios e História Ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v.X, n.2, p.11-23, 2007.
- PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B. de. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do Cerrado. **Floresta**, v.34, n.2, p.95-100, 2004.
- PYNE J. S. **Wildland fire – Fire management in the United States**. New York: Wiley & Sons, 1984. 769p.
- REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990. 124p.
- RIBEIRO, G. A.; BONFIM, V.R. Incêndio Florestal versus queima controlada. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 12, p. 8-11, 2000.
- RIBEIRO, G. A.; LIMA, G. S.; OLIVEIRA, A. L. S. de; CAMARGOS, V. L. de; MAGALHÃES, M. U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. **Revista Árvore**, v.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. de P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v.38, n.3, p.561-572, 2008.
- RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SILVA, I. C. Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia Mato-grossense, Brasil. **Floresta**, v.41, n.2, p.257-270, 2011.
- ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, 1972. 40p. (Research Paper INT-115).
- SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. **Human Error, Accidents, and Safety**. In: SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. Human Factors in Engineering and Design. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993. chap. 20, p. 655 – 695.
- SANTANA, J. A. da S.; ARAÚJO, I. M. M. de; SENA, C. M. de; PIMENTA, A. S.; FONSECA, F. das C. E. da. Determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais na Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte-RN. **Revista Caatinga**, v.24, n.1, p.43-47, 2011.

SANTOS, J. F. **Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. 2004. 94f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v.36, n.1, p.93-100, 2006.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360, 1970. 229p.

SCOTT, J. H. **Introduction to Wildfire Behavior Modeling**. USDA Forest Service, National Interagency Fuels, Fire, & Vegetation Technology Transfer, 2012. 149p.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais**: controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 1985. 213p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, 2007. 264p.

SOBRAL, I. S.; SANTANA, R. K. de O.; GOMES, L. J.; COSTA, M.; RIBEIRO, G. T.; SANTOS, J. R. Dos. Avaliação dos impactos ambientais no Parque Nacional Serra de Itabaiana – SE. **Caminhos de Geografia**, v.24, n.8, p.102-110, 2007.

TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; WENDLING, W. T. Eficiência do combate aos incêndios florestais, no período de 1965 a 2009, na Fazenda Monte Alegre, Paraná. **Scientia Forestalis**, v.40, n.96, p.483-489, 2012.

THOMAS, P. H. The size of flames from natural fires. **Symposium (International) on Combustion**, v.9, n.1, p.844-859, 1963.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações meteorológicas e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Floresta**, v.35, n.1, p.143-150, 2011.

VENTURI, N. L.; ANTUNES, A. F. B. Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. **Floresta**, v.37, n.2, p.159-173.

WHELAN, R. J. **The Ecology of Fire**. Cambridge University Press, 1998. 346p.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. de S. Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.6, n.1, p.148-156, 2011.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. **Ciência Florestal**, v.24, n.3, p.699-706, 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. S. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.73, p.73-84, 2013.

5. CAPÍTULO 1: Quantificação do Material Combustível Superficial em Diferentes Fitofisionomias de um Fragmento de Mata Atlântica no Nordeste Brasileiro

A ser submetido a um periódico indexado.

RESUMO

Os incêndios florestais constituem uma das maiores ameaças ao equilíbrio ambiental do planeta. Seus efeitos podem ser percebidos, principalmente, na redução da biodiversidade e incremento do efeito estufa. Em Sergipe, todos os anos, áreas naturais protegidas da Mata Atlântica sofrem com esse tipo de problema. Nesse cenário, fazem-se necessários estudos voltados para a compreensão de fatores ligados ao comportamento do fogo. O presente trabalho teve por objetivo quantificar o material combustível superficial em diferentes fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. Trata-se de uma área de relevante interesse ecológico, já que abriga espécies ameaçadas de extinção como o *Callicebus coimbrai* (Macaco-Guigó). Foram selecionados três tipos de fitofisionomias para coleta: Bambuzal, Mata Fechada e Área de Transição. Em cada uma delas foram demarcadas 20 parcelas de 1,5m x 1,5m, onde foi coletado e classificado todo o material combustível de acordo com o modelo de predição do fogo de Rothermel (1972). Os resultados apontam que as áreas de Bambuzal (7,60 t/h) e Mata Fechada (7,02 t/h) apresentam a maior carga de material combustível por hectare, enquanto que as áreas de Transição apresentaram um valor inferior (2,08 t/ha). O teor de umidade do material combustível variou de acordo com cada tipo de ambiente, podendo estar relacionado com fatores microclimáticos como temperatura e umidade relativa do ar. A avaliação do perigo de ocorrência de incêndios revela que as áreas de Bambuzal são as mais propensas, já que apresentam elevada carga de material combustível seco. Os resultados aqui obtidos poderão servir de base para a elaboração de um plano operacional de prevenção e combate aos incêndios florestais na região, bem como para a realização de simulações acerca do comportamento do fogo.

Palavras-chave: Incêndios Florestais, Perigo de fogo, Conservação.

ABSTRACT**Título: Quantification of the Fuel Load Surface in Different Vegetation Types of Atlantic Forest Fragment in Brazilian Northeast**

Forest fires are one of the biggest threat to the environmental balance and conservation of the planet, reducing biodiversity and increasing the greenhouse effect. In Sergipe, every year, Atlantic Forest conservation units are affected from this type of problem. Therefore, it is necessary the development of studies that aims to understand the variables affecting the fire behavior. This study intended to quantify the surface fuel load in different vegetation types of the Wildlife Refuge Mata Junco, Capela, Sergipe. It is an area of ecological interest, since it is the habitat of endangered species such as the *Callicebus coimbrai*. Three vegetation types were selected for collection: Bamboo Fields, Closed Forest and Transition Area. In each of them were delimited 20 plots of 1.5m x 1.5m where all the fuel load was collected and classified according with the Rothermel (1972) model. The results show that the Bamboo Fields (7,60 t/ha) and Forest Closed (7,02 t/ha) presented the highest fuel load, while the Transition Areas showed a lower value (2,08t/ha). The moisture content of the fuel load changed according to each vegetation type, which may be related to climatic factors such as air temperature and relative humidity. The assessment of the fire hazard shows that the Bamboo Fields are more likely to forest fire occurrence, since they have high amount of fuel load with low moisture. The results obtained may serve as a basis for the development of an operational plan to prevent forest fires in the region.

Key-words: Forest Fire, Fire hazard, Conservation.

5.1. Introdução

Os incêndios florestais são uma das maiores ameaças à preservação da biodiversidade do planeta. Além de seu impacto direto sobre a fauna e a flora, contribuem diretamente com a degradação ambiental, deixando o solo mais susceptível a processos erosivos e liberando na atmosfera uma enorme quantidade gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa (CERTINI, 2005).

No Brasil, a prática de queimadas durante os procedimentos de colheita da cana-de-açúcar e abertura de pastagens são muito comuns e remontam os tempos da colonização (MORENO *et al.*, 2003). O problema reside em que muitas dessas atividades econômicas estão inseridas em áreas de relevante interesse ecológico, como fragmentos de Mata Atlântica, por exemplo, os quais estão se tornando cada vez mais escassos. Dessa forma, procedimentos mal sucedidos de queima podem originar incêndios florestais e, conseqüentemente, perdas biológicas irreparáveis nessas áreas.

Em Sergipe, o quadro não é diferente. Apesar de todos os esforços movidos pelos órgãos ambientais do estado, todos os anos, áreas naturais importantes como as do Parque Nacional Serra de Itabaiana sofrem com problemas causados pelo mau uso do fogo (WHITE *et al.*, 2014).

Diante disso, pesquisadores e órgãos ambientais do Brasil têm se debruçado sobre alternativas sustentáveis que visem minimizar este problema, além de compreender os diversos fatores que possuem influência direta sob a ocorrência dos incêndios florestais (SOARES; SANTOS, 2002; SANTOS *et al.*, 2006).

De acordo com Torres *et al.*, (2011), por exemplo, variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e a pluviosidade de uma região são fatores determinantes para a ocorrência ou não desse tipo de problema. Já para Alves *et al.*, (2009), além destas variáveis climáticas, faz-se necessário compreender também

o teor de umidade do material combustível, uma vez que quanto mais seco ele estiver, maior será a probabilidade do mesmo entrar em ignição.

Não obstante, a quantidade de material combustível disponível em cada fitofisionomia de uma floresta também deve ser levada em consideração em estudos que visam compreender a dinâmica do comportamento do fogo (PEZZOPANE, 2001; SOARES; BATISTA, 2007; RIBEIRO, 2009).

No entanto, não basta apenas coletar amostras aleatórias de um determinado material combustível florestal para realizar previsões do comportamento do fogo. Na verdade, é preciso que o mesmo também seja categorizado de acordo com classes de material combustível pré-estabelecidas, uma vez que cada uma dessas classes tem maior ou menor influência sobre a velocidade de propagação das chamas (ROTHERMEL, 1972; FERNANDES, 2001; FERNANDES; LOUREIRO, 2013).

Em suma, a união de todos esses fatores é de fundamental importância para estabelecer programas de prevenção e combate aos incêndios florestais, principalmente, em áreas naturais protegidas. Esses dados podem ser utilizados em softwares especializados de modelagem como o Behaveplus ou Farsite, sob os quais é possível simular parâmetros inerentes ao comportamento do fogo (WHITE *et al.*, 2013).

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo quantificar o material combustível superficial, bem como seu teor de umidade, disponível em diferentes fitofisionomias de um fragmento de Mata Atlântica do estado de Sergipe, apontando, assim, as áreas de maior perigo à ocorrência de incêndios florestais.

5.2. Materiais e Métodos

5.2.1. Área de Estudo

O presente estudo foi realizado no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco – RVSMJ, localizado no município de Capela, Sergipe (Figura 1). Trata-se de uma área de relevante interesse ecológico para o estado, uma vez que abriga remanescentes de Mata

Atlântica com aproximadamente 897 ha, sob os quais é possível encontrar espécies raras, endêmicas e com alto risco de extinção, como é o caso do macaco – guigó (*Calicebus coimbrai*), (SANTOS *et al.*, 2007).

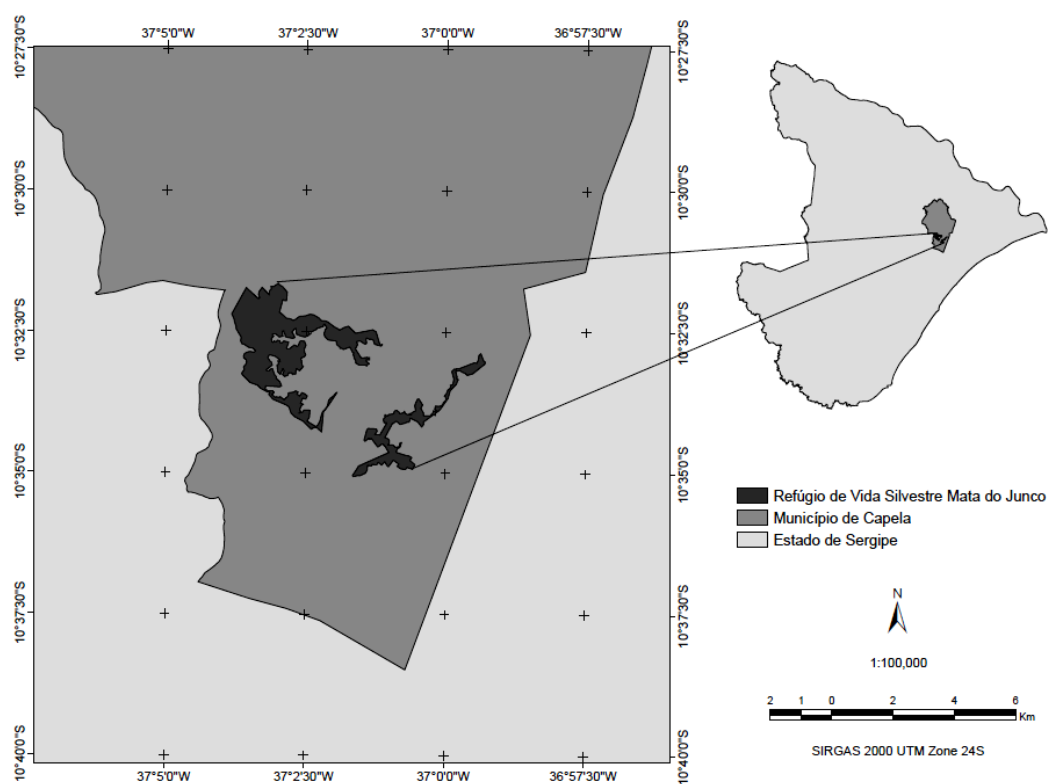


Figura 1. Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.
Fonte: Atlas de Sergipe.

De acordo com Malta (2011), esta área apresenta fragmentos típicos de Mata Atlântica de Tabuleiro, a qual se encontra bastante descaracterizada devido às transformações causadas por pastagens e plantações de cana-de-açúcar. No Plano de Manejo da Unidade, a vegetação local foi enquadrada em seis fitofisionomias: Floresta de Tabuleiro; Áreas Degradadas de Solos Lateritizados; Áreas Agrícolas; Pastagens Abandonadas; e Vegetação Regenerante (DANTAS *et al.*, 2006).

5.2.2. Determinação dos ambientes de coleta

Para realização deste trabalho foram levadas em consideração as formações vegetais situadas mais próximas às plantações de cana-de-açúcar, uma vez que elas são mais susceptíveis à ocorrência de incêndios (Figura 2).

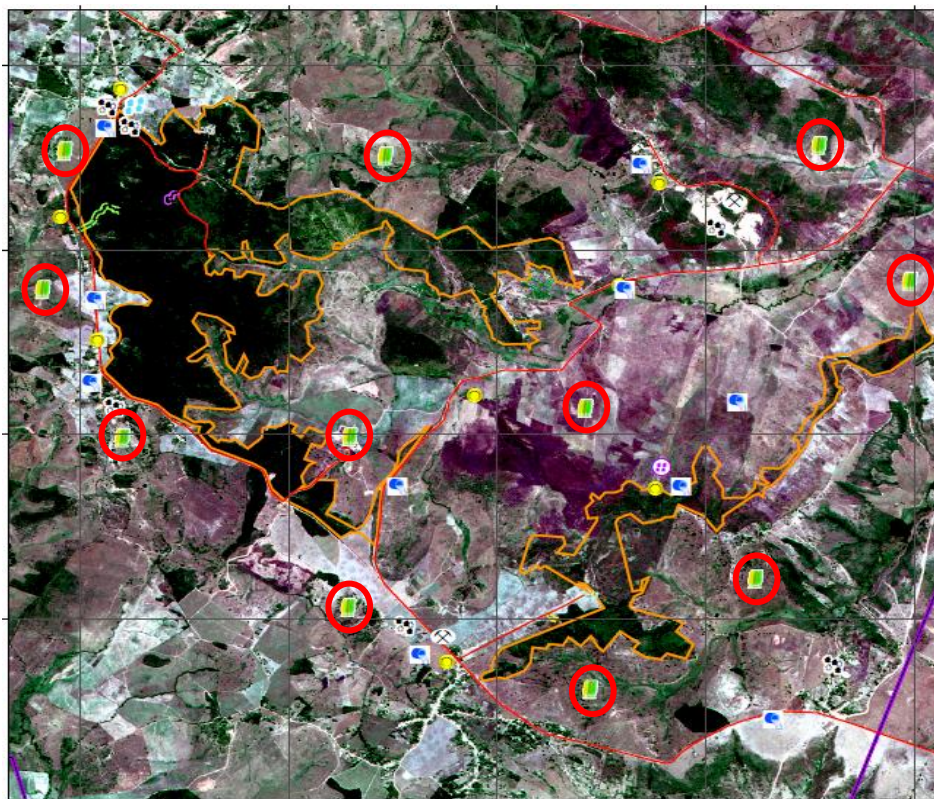


Figura 2. Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco (laranja) e localização das usinas de cana-de-açúcar (círculos em vermelho), Capela, Sergipe. **Fonte:** SEMARH-SE (adaptado)

Dessa forma, coletou-se em três tipos de ambientes:

Mata Fechada

Trata-se de uma fisionomia característica de matas primárias, onde a luminosidade é baixa, a umidade é alta e o dossel das árvores é bastante homogêneo, podendo chegar até 20 m de altura (Figura 3). Além disso, nesse tipo de ambiente a presença de lianas e epífitas é marcante, bem como a alta densidade de serrapilheira (DANTAS; RIBEIRO, 2010).

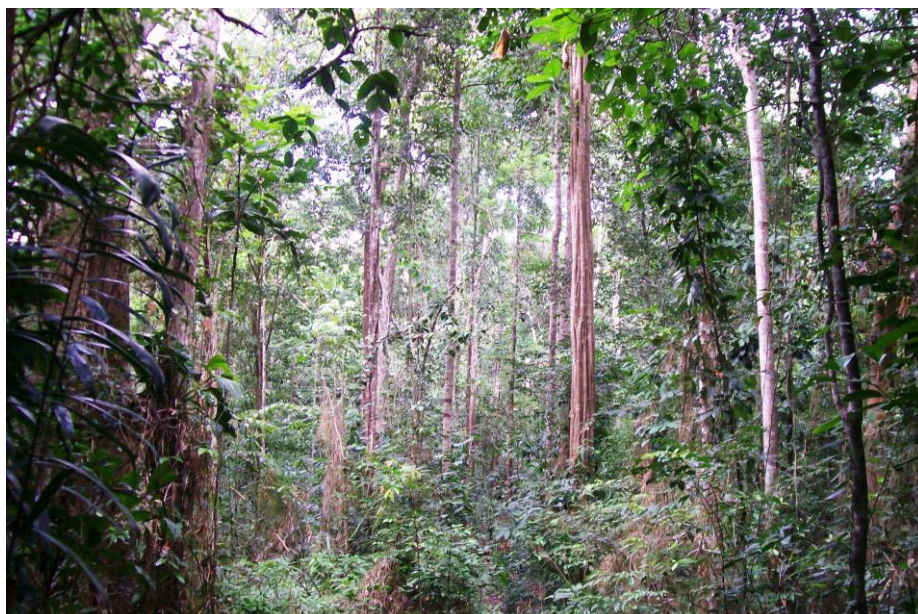


Figura 3. Recorte de uma das áreas de coleta da fitofisionomia Mata Fechada no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. **Foto:** Marcus Noronha.

Bambuzal

Compreende uma extensa faixa de plantação da espécie *Phylostachys aurea* (cana-da-Índia), a qual foi abandonada antes da criação da unidade e que faz fronteira com áreas de alto potencial biológico, como a mencionada no item anterior. Nesse local as temperaturas do ar são elevadas, sendo possível também identificar uma enorme quantidade de folhiço seco sobre o solo (Figura 4).



Figura 4. Detalhe do interior da área de bambuzal abandonado no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. **Foto:** Marcus Noronha.

Área de Transição

Áreas que foram bastante modificadas pela ação humana, especialmente, pela extração de “taquaras” da família *Merostachys*. Nelas, é possível encontrar espécies arbóreas com diâmetros e alturas inferiores as encontradas nas áreas de Mata Fechada. A luminosidade nesses locais é alta e a presença de touceiras de ciperáceas e gramíneas é marcante (Figura 5) (SOUZA, 2011).



Figura 5. Detalhe da Área de Transição (à frente) e da Mata Fechada (atrás) no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. **Foto:** Marcus Noronha.

5.2.3. Coleta dos dados

Distribuição das parcelas

Para a coleta do material combustível foi realizado um delineamento inteiramente casualizado, onde, com o auxílio de um gabarito de cano PVC (1,5 m X 1,5 m) (Figura 6), foram demarcadas 20 parcelas em cada um dos ambientes pré-estabelecidos, totalizando 60 amostras. Essas coletas foram realizadas no período de Janeiro a Outubro de 2015, abrangendo períodos secos e chuvosos na região.



Figura 6. Gabarito utilizado nas coletas de material combustível superficial.

Foto: Marcus Noronha.

O material coletado foi separado em classes de diâmetro com o auxílio de paquímetro digital, obedecendo à classificação proposta utilizada pelo modelo de propagação de incêndios de Rothermel (1972):

- Material Combustível Vivo – MCV

- Material Herbáceo (MHerb): Plantas que possuem a consistência e porte de erva. Ex: gramíneas e samambaias.

- Material Verde Lenhoso (MVL): Inclui folhagens e pequenos ramos dos arbustos vivos, cujo diâmetro é menor ou igual a 0,7 cm.

- Material Combustível Seco – MCS

- MS₁: Material seco com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm.

- MS₂: Material seco com diâmetro entre 0,71 cm e 2,5 cm.

- MS₃: Material seco com diâmetro entre 2,51 cm e 7,6 cm.

Os combustíveis secos maiores que 7,6 cm e verde-lenhosos maiores 0,7 cm de diâmetro foram descartados por não se enquadrarem neste modelo de propagação.

Após classificação e coleta, os materiais foram pesados com o auxílio de balança digital com precisão 5g. Subamostras de cada classe foram retiradas, pesadas, armazenadas em sacos de papel e levadas à estufa de secagem do Laboratório de Fisiologia Vegetal da

UFS, Campus Itabaiana, sob temperatura constante de 100°C, durante 24 h para determinação do peso seco e teor de umidade.

O cálculo do teor de umidade do material combustível foi feito utilizando a seguinte equação:

$$\%U = \frac{Po - Ps}{Po} \times 100\%$$

Sendo: %U = Teor de Umidade

Po = Peso original

Ps = Peso seco

Dados Climáticos

Foram obtidos dados climáticos referentes à temperatura relativa do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), em cada parcela coletada, nos ambientes em questão, com o auxílio de um termo-higrômetro modelo AR 020, perfazendo, assim, um total de 60 valores cada uma das variáveis em questão.

Análise Estatística

Os dados coletados foram inseridos no programa estatístico JMP 10.0, onde foram calculados valores médios, variância e desvio padrão para biomassa seca e umidade de todas as classes de material combustível dentro de cada uma das fitofisionomias selecionadas nesse estudo.

Para avaliar a distribuição normal da carga de material combustível nessas áreas, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Aplicou-se uma análise de variância (ANOVA), teste de F, com o objetivo de identificar diferenças significativas ou não na carga de material combustível presente nas fitofisionomias. Por último, foi realizado um teste de correlação de Pearson entre o teor de umidade do material combustível e as variáveis climáticas obtidas durante as coletas.

Todos os testes foram realizados a um nível de 5% de significância.

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1 Quantificação do material combustível

No total, foram coletados 117,23 Kg de material combustível úmido nas parcelas de 2,25 m², que apresentou teor de umidade médio de 35,40%. Retirando-se a água desse material, foi possível determinar uma massa seca de 75,73 Kg, equivalente a 16,70 t/ha. As áreas de Bambuzal (7,60 t/ha) e de Mata Fechada (7,02 t/ha) apresentaram os maiores valores de material combustível coletado. Dentre as classes de material combustível pré-estabelecida, a MS1 foi a que mais se destacou, sendo a mais abundante em todas as fitofisionomias analisadas (Tabela 1).

Tabela 1. Quantificação do material combustível seco nas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.

Fitofisionomias	Peso médio (t/ha)					Total (n = 20)
	MS1	MS2	MS3	MVHerb	MVL	
Bambuzal	6,75±3,16	0,23±0,48	-	0,04±0,06	0,58±0,49	7,60
Mata Fechada	5,54±1,78	0,40±0,54	0,19±0,82	0,33±0,35	0,56±0,55	7,02
Transição	1,35±0,87	0,13±0,27	-	0,25±0,12	0,35±0,36	2,08
Total (n = 60)	13,64	0,76	0,19	0,62	1,49	16,70

LEGENDA: MS1 (material seco com $\varnothing \leq 0,7$ cm); MS2 (material seco $0,7 < \varnothing \leq 2,50$ cm); MS3 (material seco $2,50 < \varnothing \leq 7,6$ cm); MVHERB (material herbáceo); e MVL (material verde-lenhoso com $\varnothing \leq 0,7$ cm).

Através da análise de variância (ANOVA), é possível perceber que existem diferenças na quantidade de material combustível seco coletado nas três áreas observadas ($F = 28,42$; $p < 0,001$) (Figura 7).

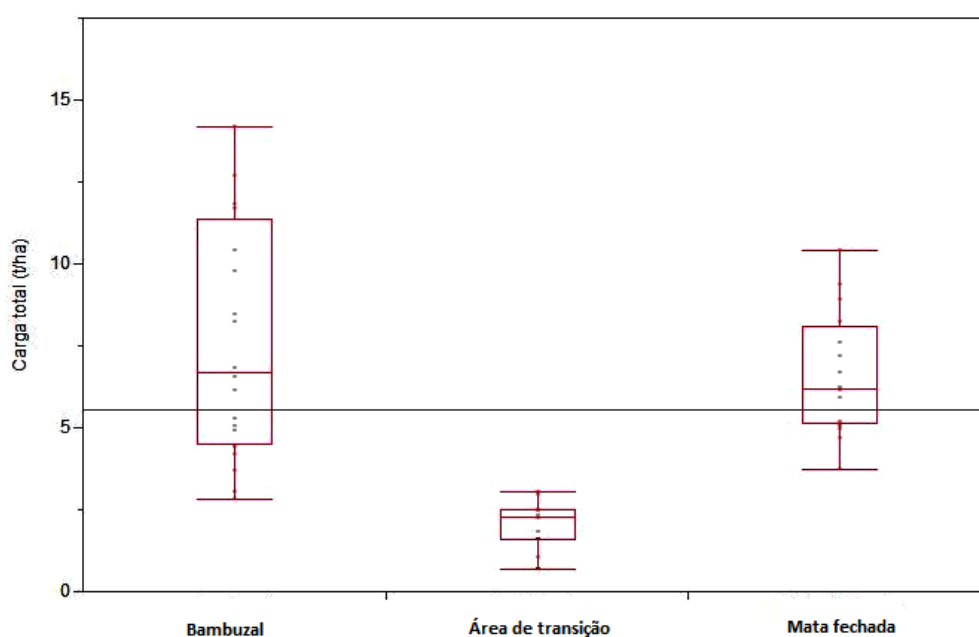


Figura 7. Variação da quantidade material combustível coletado nas fitofisionomias do RVSMJ, Capela, Sergipe. A linha horizontal indica a similaridade entre as áreas.

Quando comparadas entre si, a análise de variância revela que entre as fitofisionomias de Bambuzal e Mata Fechada não existem diferenças estatísticas significativas para a carga do material combustível ($F = 0,37$; $p = 0,54$). Por outro lado, as Áreas de Transição diferem tanto dos ambientes de Mata Fechada ($F = 70,03$; $p < 0,001$), quanto dos ambientes de Bambuzal ($F = 46,78$; $p < 0,001$).

A análise do teste de Shapiro-Wilk revela que dentre as fitofisionomias analisadas, a quantidade de material combustível total obtida nas parcelas das áreas de Mata Fechada não seguem uma distribuição normal ($W = 0,88$; $p < 0,007$) (Figura 8), fato esse que pode ser explicado pela presença aleatória de materiais combustíveis com grande quantidade de massa seca, como os materiais da classes MS3 (Tabela 1).

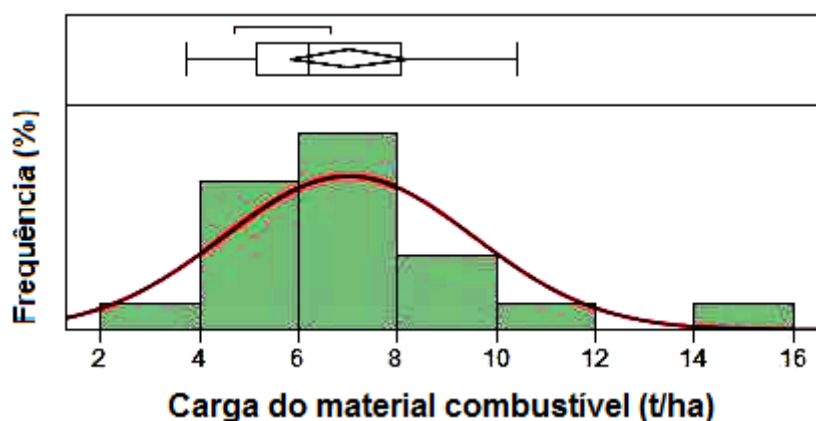


Figura 8. Distribuição da carga do material combustível seco obtido nas fitofisionomias de Mata Fechada.

As diferenças de carga do material combustível encontradas nas fitofisionomias podem estar associadas a fatores climáticos como temperatura e umidade relativa do ar, por exemplo, os quais variam muito de um ano para outro ou influenciam de modo diferente cada local analisado. Dessa forma, a quantidade de biomassa produzida por cada fitofisionomia pode sofrer variações significativas ao longo do tempo (NETO *et al.*, 2015).

Um dos fatores que podem ser determinantes para a quantidade de biomassa encontrada entre as fitofisionomias, refere-se à densidade das espécies vegetais que as compõem. A depender da área ocupada por elas, é possível determinar se irá ocorrer uma competição maior ou menor por água, luz e nutrientes, o que interfere diretamente na produção de serrapilheira (ALONSO *et al.*, 2015).

Nas áreas de Mata Fechada isso é bastante evidente. Nelas, é possível observar uma formação florestal ombrófila, na qual a densidade da copa das árvores reduz a luminosidade em seu interior e aumenta a proximidade entre os espécimes. A combinação desses fatores torna o ambiente quente e úmido, aumentando, assim, a evapotranspiração do vegetal e, conseqüentemente, a perda das folhas, justificando a alta produção de serrapilheira nesses locais.

Já nas áreas de bambuzal, a grande quantidade de biomassa seca se justifica pelas características ecofisiológicas da espécie encontrada na região: *Phylostachys aurea* (cana-da-Índia). Em geral, bambúseas são muito competitivas e impedem a regeneração de espécies

arbóreas e de crescimento rápido (CAMPANELLO *et al.*, 2007). Isso se deve, principalmente, pelo alto poder de propagação vegetativa que estes indivíduos apresentam, no qual seus rizomas crescem facilmente e elevam a densidade de colmos na área (GONZÁLES *et al.*, 2009), ou ainda, a produção em massa de sementes durante os períodos de floração e uma decomposição mais lenta das suas folhas em relação a outras espécies nativas (GUILHERME; RESSEL, 2001; SANTOS *et al.*, 2012).

De fato, nos ambientes de bambúseas presentes na Mata do Junco é praticamente impossível encontrar sobrevida de outras espécies florestais, justificando, assim, a presença elevada de serrapilheira deste tipo de vegetal, especialmente, para a classe MS1.

5.3.2. Teor de umidade do material combustível

Quando comparadas, as fitofisionomias de Mata Fechada apresentaram os valores médios de umidade mais elevados em todas as classes de material combustível pré-estabelecidas nesse trabalho: MS1 = 41,31%; MS2 = 42,15%; MS3 = 59,7%; MVHerb = 49,37%; e MVL = 47,07% (Figura 9).

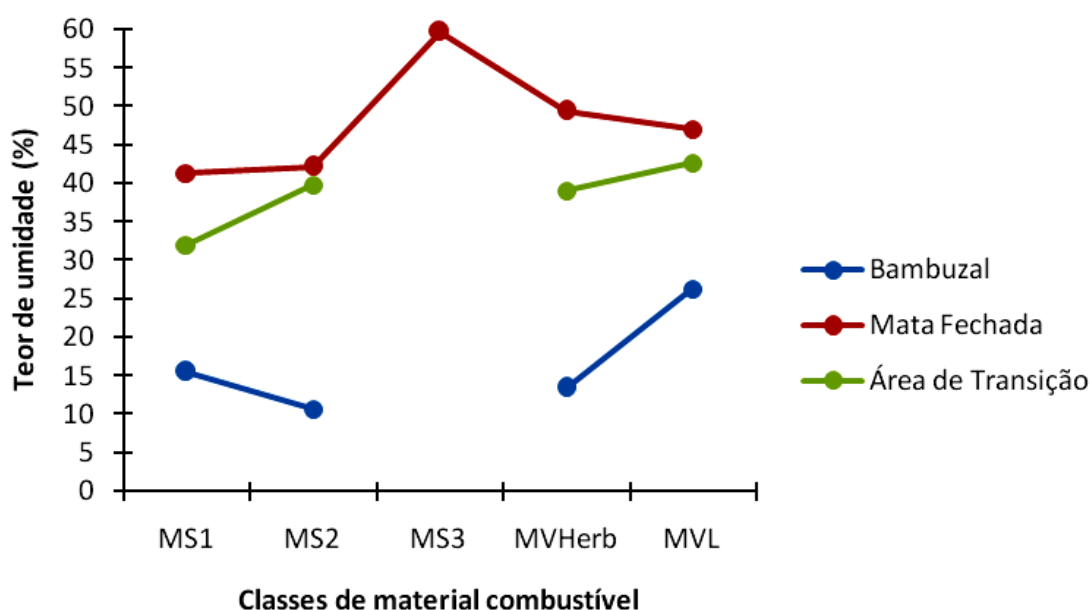


Figura 9. Teor de umidade médio das classes de material combustível coletadas nas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.

Os valores de umidade do material combustível podem estar associados a fatores abióticos como temperatura do ar e umidade relativa do ar (Tabela 2). Ao cruzar as

informações obtidas junto aos dados climáticos coletados nas parcelas, com o teor de umidade do material combustível mais abundante (MS1), é possível verificar que existe uma relação positiva entre o aumento da umidade relativa do ar e aumento do teor de umidade do material combustível nas três fitofisionomias, cabendo o destaque para as áreas de Bambuzal, a qual apresentou uma correlação forte e positiva entre esses parâmetros (0,72).

Tabela 2. Correlação de Pearson entre o teor de umidade do MS1 nas áreas de coleta e variáveis climáticas.

Fitofisionomias	Teor de umidade do MS1 (%)	
	Tempertatura relativa do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)
Bambuzal	-0,63	0,72
Mata Fechada	-0,75	0,59
Área de Transição	-0,45	0,33

No caso da temperatura relativa do ar, ocorre o contrário. Ela mantém uma relação inversa com o teor de umidade do MS1, onde, à medida que o ambiente se torna mais quente, ocorre também uma maior evaporação da água presente na serrapilheira, tornando o material combustível mais seco e, conseqüentemente, mais propenso à ignição.

Esses resultados corroboram com a literatura disponível acerca da influência de variáveis climáticas na ocorrência de incêndios florestais (ALVES *et al.*, 2009; TORRES *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2011).

5.3.3 Avaliação do Perigo de Incêndios Florestais no RVSMJ

Pode-se afirmar que as fitofisionomias denominadas de Bambuzal são as mais susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais. Isso se deve, principalmente, pela grande quantidade de material combustível seco disponível com baixo teor de umidade.

A carga de combustível florestal é fator determinante para aumentar a intensidade de calor liberado pelo fogo (SOARES; BATISTA, 2007). Além disso, a combinação de temperaturas elevadas com níveis amenos de umidade relativa do ar, quando comparada com as fitofisionomias de Mata Fechada (Figura 10), evidencia a grande capacidade de o material combustível coletado entrar em ignição (PEREIRA *et al.*, 2012).

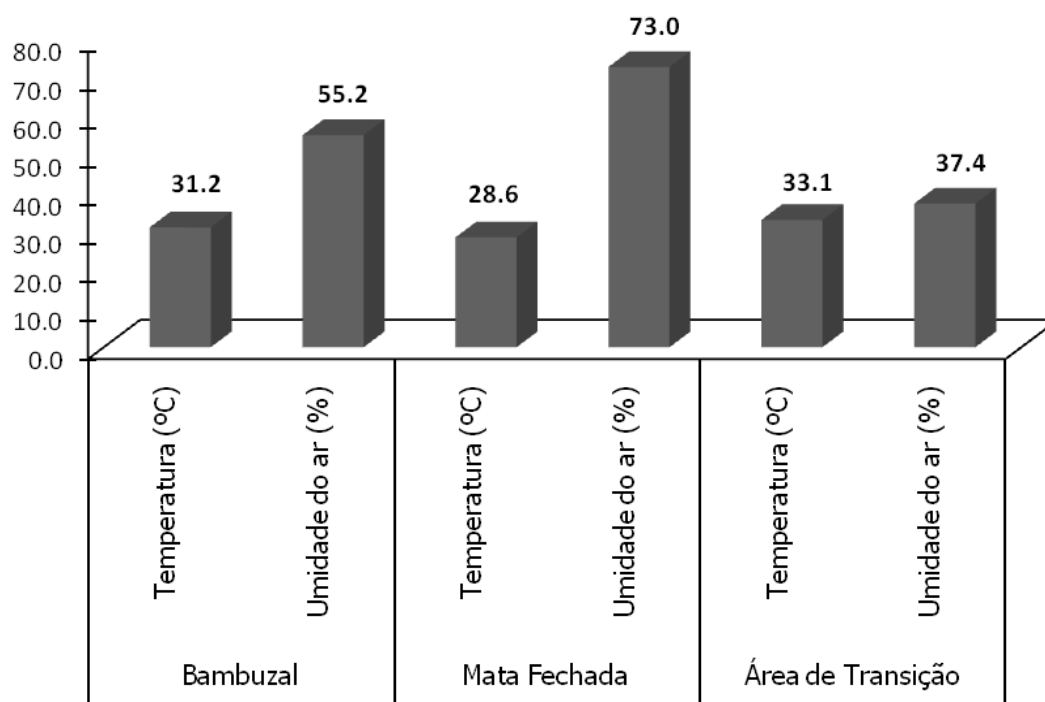


Figura 10. Distribuição das variáveis climáticas obtidas juntos às fitofisionomias.

Outro fator que contribui para que as áreas de bambuzais tornem-se mais vulneráveis a ocorrência de incêndios florestais é a baixa quantidade ou até mesmo a ausência de materiais combustíveis com diâmetros relativamente maiores como os classificados em MS2 e MS3, uma vez que, estes tipos de materiais em alguns casos podem retardar a propagação das linhas de fogo, devido, principalmente, ao efeito de compactação exercido sob o material combustível (BATISTA, 1995). Dessa forma, possíveis incêndios nesse tipo de fitofisionomia apresentariam velocidade de propagação das linhas de fogo muito intensas, o que dificultaria o seu controle.

Nas áreas de Mata Fechada, ocorre um processo inverso. Apesar da grande quantidade material combustível disponível, a presença aleatória de MS2 e MS3, e valores elevados da umidade relativa do ar e do teor de umidade do material combustível disponível, sugerem que caso ocorressem focos de incêndios nessas áreas, eles apresentariam propagação muito lenta e poderiam ser facilmente controlados.

Quanto as Áreas de Transição, a baixa quantidade de material combustível disponível (2,08 t/ha), com teor de umidade intermediário em relação às outras áreas selecionadas para

este estudo, sugere incêndios de curta duração. Em relação às variáveis climáticas, estas áreas apresentaram-se como ambientes de micro-clima quente e seco, apontando, assim para uma susceptibilidade considerável na ocorrência de incêndios.

5.4. Conclusões

As áreas selecionadas para esse estudo apresentam diferentes padrões de distribuição de material combustível superficial, bem como do teor de umidade para as classes de material combustível, sugerindo, assim, diferentes características inerentes ao comportamento do fogo e sua probabilidade de entrar em ignição.

Nesse contexto, os bambuzais são os locais mais susceptíveis, uma vez que abrigam grandes quantidades de material seco de fácil ignição (MS1). Caso venham a ocorrer problemas com incêndios nessas áreas, a intensidade das chamas e velocidade de propagação do fogo seria elevada. Essa preocupação se intensifica ainda mais com a proximidade desses bambuzais com as áreas de queima das plantações de cana-de-açúcar e áreas que servem como sítios reprodutivos do *Calicenus coimbrai* (macaco-guigó).

Dessa forma, ressaltamos a importância de associar o conhecimento adquirido neste trabalho com softwares especializados em modelagem do comportamento do fogo para auxiliar na elaboração de um plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais no RVSMJ, identificando áreas de maior risco e parâmetros inerentes ao comportamento do fogo nas diferentes formações vegetais presentes nesta unidade.

5.5. Referências Bibliográficas

ALONSO, J. M.; LELES, P. S. dos S.; FERREIRA, L. do N.; OLIVEIRA, N. da S. A. Aporte de serrapilheira em plantio de recomposição florestal em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 25, n.1, p.1-11, 2015.

ALVES, M. V. G.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; KOEHLER, H. S.; PEREIRA, J. F. Modelagem de umidade do material combustível baseada em variáveis meteorológicas. **Floresta**, v.39, n.1, p.167-175, 2009.

BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Avaliação do comportamento do fogo em queimas controladas sob povoamento de *Pinus taeda* no norte do Paraná. **Revista Floresta**, v.25, n.12, p.31-42, 1995.

CAMPANELLO, P.I.; GATTI, M.G.; ARES, A.; MONTTI, L.; GOLDSTEIN, G. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v.252, p.108-117, 2007.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, v.143, p.1-10, 2005.

DANTAS, T. V. P.; RIBEIRO, A. de S. Caracterização da vegetação do Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe – Brasil. **Biotemas**, v.23, n.4, p.9-18, 2010.

DANTAS, T.V.P.; RIBEIRO, A.S.; NASCIMENTO-JÚNIOR, J.E.; MACHADO, A.; CRISTINA, K.; SANTOS, C.S. 2007. **Caracterização florística**. In: Estudo técnico para a criação do Refúgio de Vida Silvestre da Mata do Junco, Capela, Sergipe (Sergipe. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, org.). UFS, São Cristóvão, p.12-15.

FERNANDES, P. A. M. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 144, p. 67-74, 2001.

FERNANDES, P. A. M.; LOUREIRO, C. Fine fuels consumption and CO₂ emissions from surface fire experiments in maritime pine stands in northern Portugal. **Forest Ecology and Management**, v.291, p.344-356, 2013.

GONZÁLEZ, M.; VEBLEN, T.; DONOSO, C.; VALERIA, L. Tree regeneration responses in a lowland Nothofagus-dominated forest after bamboo dieback in South-Central Chile. **Plant Ecology**, v.161, p.59-73, 2009.

GUILHERME, F.A.G.; RESSEL, K. Biologia floral e sistema de reprodução de *Merostachys riedeliana* (Poaceae: Bambusoideae). **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, p.205-211, 2001.
MALTA, J. A. O.; SOUZA, H. T. R. de; SOUZA, R. M e. A contraditória relação sociedade-natureza em espaços territoriais protegidos – Mata do Junco, Capela/SE. **Geografia em questão**, v.4, n.1, p.126-152, 2011.

MORENO, M. R.; NASCIMENTO, M. T.; KURTZ, B. C. Estrutura e composição florística do estrato arbóreo em duas zonas altitudinais na Mata Atlântica de encosta da região do Imbé, RJ. **Acta Botânica Brasilica**, v.17, n.3, p.371-386, 2003.

NETO, A. P. S.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; NOVAES, A. B. de; PAULA, A. de. Produção de serrapilheira em floresta estacional semidecidual e em plantios de *Pterogyne nitens* Tul. e *Eucalytus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, v.25, n.3, p.633-643, 2015.

PEREIRA, J. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Variação da umidade do material combustível florestal em função de índices de perigo de incêndios. **Cerne**, v.18, n.3, p.371-376, 2012.

PEZZOPANE, J. E. M.; NETO, S. N. de O.; VILELA, M. de F. Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.161-166, 2001.

RIBEIRO, G. A. A queima controlada no manejo da terra. In: SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. (Eds.) **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba, p. 1-20, 2009.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SILVA, I. C. Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia mato-grossense, Brasil. **Floresta**, v.41, n.2, p.257-270, 2011.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, 1972. 40p. (Research Paper INT-115).

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas de 1998 a 2002. **Floresta**, v.36, n.1, p.93-100, 2006.

SANTOS, M.J.S.; SOUZA, H.T.R.; SOUZA, R.M. Biomonitoramento através de indicadores ambientais abióticos - Mata do Junco (Capela-SE). **Scientia Plena**, v.3, n.5, p.142-151, 2007.

SANTOS, S. C. dos; BUDKE, J. C.; MULLER, A. Regeneração de espécies arbóreas sob a influência de *Merostachys multiramea* Hack. (Poaceae) em uma floresta subtropical. **Acta Botânica Brasilica**, v.26, n.1, p.218-229, 2012.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba, 2007. 264p.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, v.32, n.2, p.219-232, 2002.

SOUZA, H. T. R. de. **Zoneamento geoambiental da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco (Capela-SE)**. 2011. 163f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Ávore**, v.35, n.1, p.143-150, 2011.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. de S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial do Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. **Ciência Florestal**, v.24, n.3, p.699-706, 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e feito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.73, p.73-84, 2013.

6. CAPÍTULO 2: Avaliação e Simulação do Comportamento do Fogo em Diferentes Fitofisionomias de uma Área de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro

A ser submetido a um periódico indexado.

RESUMO

Os incêndios florestais constituem um dos maiores problemas ambientais do mundo moderno. Por vezes derivados do mau manejo agrícola, eles podem reduzir a biodiversidade de áreas naturais, contribuir para emissão de gases de efeito estufa e alterar as propriedades químicas e físicas do solo. No âmbito da prevenção, estudos têm sido feitos baseados na modelagem de parâmetros inerentes ao comportamento do fogo. O objetivo desse trabalho foi avaliar parâmetros como velocidade de propagação do fogo, comprimento das chamas, consumo do material combustível e intensidade da linha de fogo, em diferentes fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. Para tal, foram coletadas amostras de material combustível superficial em cada uma das fitofisionomias que foram levadas ao laboratório para realização de 45 queimas experimentais. Os dados obtidos foram comparados às simulações realizadas pelos softwares Eucalyptus Fire Safety System 1.0 (EFSS) e BehavePlus 5.0 (BP) a fim de avaliar a eficiência dos mesmos. Existiram diferenças significativas nos parâmetros do comportamento do fogo entre os ambientes selecionados para o estudo. Nas áreas de Bambuzal e de Transição, o fogo apresentou maior velocidade de propagação e comprimento das chamas quando comparado com o fogo nas áreas de Mata Fechada. O consumo do material combustível foi maior nas áreas de Bambuzal. Também foi possível observar variações significativas entre os valores reais e simulados por cada software. No geral, o BP foi mais eficiente que o EFSS. Faz-se necessário a construção de modelos matemáticos mais condizentes com as condições naturais do Brasil.

Palavras-chave: Incêndios Florestais, Meio Ambiente, Prevenção.

ABSTRACT**Título: Evaluation and Simulation of Fire Behavior in Different Vegetation Types of an Atlantic Forest Area in Northeast Brazil**

Forest fires are one of the most important environmental problems of the modern world. Sometimes caused by control burns during agricultural management, they can reduce the biodiversity of natural areas, increase the greenhouse gas emissions and change the chemical and physical properties of the soil. Focusing in fire prevention, studies have been done trying to describe and model fire behavior parameters. The aim of this study was to evaluate parameters such as fire rate of spread, flame length, fuel consumption and fire line intensity in different vegetation types of the Wildlife Refuge Mata do Junco, Capela, Sergipe. For this purpose, surface fuel load samples were collected in each of the vegetation types at the study site and brought to the laboratory for perform the experimental burns fourth-five. The experimental data were compared with simulations done in the software Eucalyptus Fire Safety System 1.0 (EFSS) and BehavePlus 5.0 (BP) in order to assess their efficiency. There were significant differences in the fire behavior parameters of the three different vegetation type. In the Bamboo Fields and Transition Areas, the fire had higher rate of spread and flame length when compared with the fire behavior in the Closed Forest. The fuel consumption was greater in the Bamboo Fields. In addition, it was observed significant differences between actual and simulated values for each software. In general, BP was more efficient than the EFSS. It is recommended the development of new studies to build new and more efficient mathematical models to simulate the fire behavior in Brazilian's natural ecosystems.

Key-words: Forest Fires, Environment, Fire Prevention.

6.1. Introdução

Os incêndios florestais constituem um dos maiores problemas ambientais do mundo moderno. Muitas vezes, derivados do mau manejo do fogo durante práticas agrícolas, eles põem em risco à biodiversidade de áreas naturais protegidas, contribuem para a emissão de gases de efeito estufa e alteram as propriedades físico-químicas do solo (MEDEIROS; FIEDLER, 2003; CERTINI, 2005).

Trabalhos realizados por pesquisadores do mundo inteiro têm tentado compreender os fatores que possuem influência direta sobre a ocorrência de incêndios florestais (FERNANDES; RIGOLOT, 2007; ANDREU *et al.*, 2012; KREYE *et al.*, 2014). Alguns como Sanjuan *et al.*, (2014), afirmam que variáveis climáticas como pluviosidade, temperatura do ar, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar estão intrinsecamente relacionados ao problema.

Outros, como Grier *et al.*, (1992), afirmam que quantidade de biomassa disponível para combustível, bem como o seu teor de umidade, são fatores preponderantes para a propagação dos incêndios florestais.

Diante disso, pesquisadores e órgãos ambientais importantes como o USDA no EUA, têm tentado estabelecer estudos de modelagem do comportamento do fogo, através de queimas controladas e simulações em laboratório, para sua melhor compreensão (KOCHANSKI *et al.*, 2013).

Desde a década de 40 modelos matemáticos vêm sendo criados para estimar o comportamento do fogo, a exemplo do de Rothermel (1972), o qual, por sua vez, deu origem a importantes softwares como o BehavePlus (ANDREWS *et al.*, 2003) e o Farsite (FINNEY, 2004). Neles, é possível obter informações úteis para elaboração de planos operativos de prevenção e combate aos incêndios florestais, tais como: velocidade de propagação das chamas, comprimento das chamas, intensidade da linha de fogo, entre outros.

No entanto, muitos desses softwares foram produzidos em contextos climáticos diferentes dos do nosso país. Considerando que o clima exerce papel fundamental no comportamento do fogo, os modelos matemáticos inseridos nesses softwares possuem limitações quando estão simulando parâmetros inerentes ao comportamento do fogo em determinadas condições climáticas distintas das quais foram desenvolvidos (WHITE *et al.*, 2013)

White (2014), em sua tese de Doutorado, criou o único software de avaliação do comportamento do fogo desenvolvido no Brasil, o Eucalyptus Fire Safety System 1.0 (EFSS), capaz de realizar modelagens de risco e do comportamento do fogo.

Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do fogo em queimas laboratoriais controladas, com material combustível coletado em diferentes fitofisionomias de um remanescente de Mata Atlântica sergipano, e simular o seu comportamento utilizando dois softwares distintos, o Eucalyptus Fire Safety System (White, 2014) e o BehavePlus 5.0, a fim de avaliar suas respectivas eficiências (ANDREWS *et al.*, 2003).

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Área de Coleta

A coleta do material combustível foi realizada no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco – RVSMJ, Capela, Sergipe (Figura 1). Trata-se de um fragmento de Mata Atlântica, com aproximadamente 897 ha, de alto valor biológico para o estado, uma vez que abriga espécies raras, endêmicas e altamente ameaçadas de extinção, como é o caso do macaco-guigó (*Calicebus coimbrai*) (SANTOS *et al.*, 2007).



Figura 1. Perímetro do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe.
Fonte: Atlas Digital de Sergipe.

O clima da região é considerado megatérmico subúmido com temperaturas médias anuais de 24,9 °C, precipitação média anual em torno de 1372 mm e chuvas concentradas entre os meses de março e agosto (FONTES, 1997). De acordo com Malta (2011), o RVSMJ apresenta fragmentos típicos de Mata Atlântica de Tabuleiro, encontrando-se bastante descaracterizado não apenas no município de Capela, mas em todo o estado de Sergipe, devido, principalmente, às transformações históricas causadas por pastagens e plantações agrícolas.

6.2.2. Procedimentos de coleta

De acordo com o Plano de Manejo desta unidade, é possível identificar cinco fitofisionomias na região: Floresta de Tabuleiro; Áreas Degradadas de Solos Lateritizados; Áreas Agrícolas; Pastagens Abandonadas; e Vegetação Regenerante (DANTAS *et al.*, 2006).

Neste trabalho, optou-se por selecionar três destes ambientes, baseando-se no critério de proximidade com as áreas de ocorrência de queima controlada para colheita da cana-de-açúcar, sendo eles: Floresta de Tabuleiro (Mata Fechada), Pastagens Abandonadas (Bambuzal) e Vegetação Regenerante (Áreas de Transição). (Figura 2).

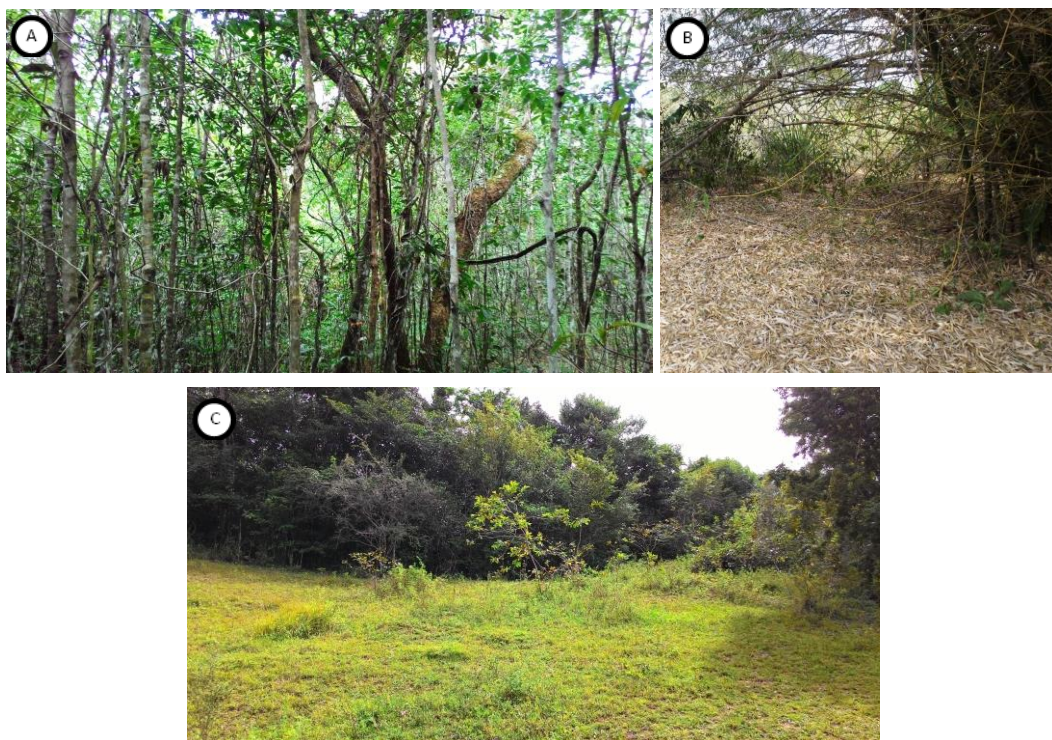


Figura 2. Fitosfisionomias selecionadas para coleta de material combustível. A – Floresta de Tabuleiro (Mata Fechada); B – Pastagens Abandonadas (Bambuzal); C – Vegetação Regenerante (Área de Transição). **Foto:** Marcus Noronha.

As Florestas de Tabuleiros, aqui denominadas de Mata Fechada, caracterizam-se, principalmente, pela luminosidade reduzida em seu interior devido. A alta densidade de sua copa, formada por espécies sucessionais tardias como o ipê-amarelo (*Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex A. DC.) Mattos) e o Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), favorecem a produção de serrapilheira no local (DANTAS; RIBEIRO, 2010).

Nos Bambuzais, como o próprio nome sugere, é possível encontrar uma grande quantidade de bambúseas da espécie *Phylostachys aurea* Rivière & C.Rivière, fazendo fronteira com as áreas de preservação da UC. Por último, as Áreas de Transição assemelham-se a uma área de ecótono (transição) entre fragmentos florestais, com intenso processo de succeção ecológica, sendo possível encontrar grande quantidade de gramíneas e ciperáceas.

Em cada um desses três ambientes foram coletadas amostras aleatórias de material combustível superficial, baseando-se no critério de classificação proposto por Rothermel (1972) (Tabela 1), entre os meses de Janeiro e Outubro de 2015, utilizando-se de um gabarito de PVC com dimensões de 1,5 m X 1,5 m (Figura 3).

Tabela 1. Classes de material combustível de acordo com Rothermel (1972).

Categoria	Classes	Descrição
Material Combustível Seco – MCS	Material Combustível Seco 01 – MS1	Materiais com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm;
	Material Combustível Seco 02 – MS2	Materiais com diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm;
	Material Combustível Seco 03 – MS3	Materiais com diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm;
Material Combustível Vivo – MCV	Material Combustível Vivo Herbáceo – MVHerb	Materiais vivos não lenhosos de caule fino e flexível, com aspecto de erva;
	Material Combustível Vivo Lenhoso - MVL	Inclui a folhagem viva e pequenos ramos da planta com diâmetro inferior a 0,7 cm;

**Figura 3.** Gabarito de PVC utilizado para coleta de material combustível.**Foto:** Marcus Noronha.

O material coletado foi armazenado em sacos de náilon de 50 Kg, sendo devidamente etiquetados para posterior realização de queimas controladas em laboratório.

6.2.3. Avaliação do comportamento do fogo

Para verificar o comportamento do fogo, foram realizadas quinze queimas experimentais com o material coletado em cada uma das três fitofisionomias, perfazendo um

total de quarenta e cinco queimas. As mesmas foram realizadas em uma propriedade rural particular próxima à Universidade Federal de Sergipe, Campus Itabaiana.

Nesse local, foi montada uma mesa de combustão de 1,5 m x 1,5 m, cercada por paredes de madeira com 2,20 m de comprimento e 1,40 m de altura, com objetivo de padronizar o sentido e a direção do vento durante as queimas (Figura 4).



Figura 4. Mesa de combustão utilizada nas simulações de incêndios.

Foto: Marcus Noronha.

A mesa de combustão foi construída baseando-se em experimentos realizados por Beutling (2009) e White (2014). Nela, foram demarcadas quatro linhas de 25 cm e duas linhas de 12,5 cm. Duas réguas de madeira graduadas em 10 cm foram instaladas perpendicularmente à mesa para auxiliarem na mensuração dos dados de comprimento das chamas (Figura 5).

12.5 cm	LINHA FINAL
25 cm	
25 cm	
25 cm	
25 cm	
12.5 cm	LINHA DE IGNIÇÃO



Figura 5. Croqui da mesa de combustão (esquerda) e detalhe das réguas adaptadas para a medição do comprimento das chamas (direita). **Foto:** Marcus Noronha.

Todo o material combustível foi pesado com auxílio de balança digital suspensa de precisão 5g, para determinar a carga total de biomassa a ser queimada, sendo, posteriormente, depositado da maneira mais homogênea possível sobre a mesa de combustão, remontando ao ambiente natural. Em seguida, o utilizou-se de uma trena graduada em cm para mensurar a espessura do leito a partir da média de cinco pontos aleatórios.

Antes da realização de cada uma das queimas foram retiradas subamostras do material combustível para determinar o seu teor de umidade e peso seco, através da seguinte equação:

$$\%U = \frac{Po - Ps}{Po} \times 100\%$$

Sendo:

$\%U$ = Teor de Umidade

Po = Peso original

Ps = Peso seco

Valores referentes às variáveis climáticas durante a realização dos experimentos foram mensurados com o auxílio de um termo-higrômetro modelo AR 020 e um anemômetro portátil modelo PCI-81.

A ignição do material combustível foi feita com um queimador pinga-fogo de 5L, modelo GA, abastecido com querosene. Quando o fogo atingia a linha de ignição (12,5 cm) o cronômetro era acionado. Ao final de cada um dos quatro intervalos restantes, eram mensurados o tempo, o comprimento médio das chamas e a velocidade do vento naquele instante.

Por fim, ao término de cada queima, o material que permanecia sem queimar era separado do restante e pesado para avaliar o consumo do material combustível para cada experimento. Vale ressaltar que todos os procedimentos foram feitos utilizando-se de equipamentos de segurança como máscaras de ar, óculos de proteção, luvas de couro e extintores de incêndios.

Os dados obtidos com essas simulações foram armazenados em planilhas do Excel 2007 para posterior análise estatística.

6.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos durante as queimas experimentais foram comparados com os valores simulados através dos softwares Eucalyptus Fire Safety System 1.0 (EFSS) (White, 2014) e do Behaveplus 5.0 (BP) (ANDREWS *et al.*, 2003), os quais permitiram identificar parâmetros importantes para avaliação do comportamento do fogo como: Velocidade de propagação do fogo – V (m/min); Comprimento das chamas – C (m); Consumo do material combustível – CM (%); e Intensidade da linha de fogo – I (Kw/m/s).

Estes valores, por sua vez, foram submetidos à análise de variância, seguida de teste de Tukey ($p > 0.05$), através do software JMP 10.0, para avaliar a existência de diferenças significativas entre o comportamento do fogo experimental nas distintas áreas de estudo, bem como entre os dados reais e os simulados pelos *softwares* utilizados.

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1 Parâmetros do fogo

Os resultados dos experimentos revelaram valores distintos tanto para as três fitofisionomias quanto para os *softwares* utilizados, no que diz respeito aos parâmetros do comportamento do fogo avaliados nesse trabalho (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados das simulações de incêndios para as três fitofisionomias.

Parâmetros do comportamento do fogo										
Fitofisionomias	V (m/min)			C (m)			CM (%)		I (Kw/m/s)	
	Real	EFSS	BP	Real	EFSS	BP	Real	EFSS	BP	EFSS
Bambuzal	1,168	1,682	1,174	0,190	0,759	0,564	61,892	91,689	74,929	388,097
	1,436	0,855	0,495	0,400	0,630	0,321	75,057	90,848	22,023	232,443
	1,316	1,206	0,431	0,300	0,596	0,276	93,478	86,290	15,842	164,268
	1,275	0,695	0,833	0,420	0,792	0,620	90,192	100,000	91,959	224,520
	3,125	0,640	0,392	0,900	0,512	0,320	95,617	78,286	21,918	77,860
	1,562	1,376	0,653	0,220	0,589	0,347	75,179	80,822	26,127	133,120
	0,874	0,020	0,001	0,240	0,546	0,000	17,154	100,000	0,000	86,576
	-	0,571	0,437	0,100	0,630	0,336	6,011	97,745	24,318	234,021
	-	0,239	0,102	0,100	0,314	0,125	6,024	46,764	2,836	37,656
	0,749	0,661	0,314	0,150	0,481	0,212	40,007	44,373	8,963	92,186
	-	0,342	0,089	0,100	0,241	0,089	4,022	31,688	1,351	20,445
	1,602	2,092	1,902	0,520	0,951	0,824	86,257	100,000	170,752	685,339
	0,379	1,117	1,769	0,280	0,874	0,903	84,841	97,582	208,223	291,845
	1,344	1,795	3,670	0,360	1,150	1,479	89,416	100,000	609,113	605,005
	2,403	1,245	1,058	0,360	0,634	0,511	93,603	79,668	60,456	117,685
Média	1,436	0,969	0,888	0,310	0,647	0,462	61,250	81,717	89,254	226,071
Mata Fechada	-	0,164	0,011	0,150	0,193	0,016	6,218	35,968	0,031	20,542
	-	0,302	0,000	0,180	0,292	0,000	9,406	14,090	0,000	22,623
	-	0,415	0,000	0,250	0,389	0,000	2,270	37,250	0,000	126,228
	-	0,246	0,000	0,200	0,253	0,000	2,179	21,822	0,000	47,272
	-	0,664	0,126	0,100	0,452	0,110	1,500	36,577	2,138	63,924
	-	0,296	0,016	0,100	0,487	0,016	5,000	85,856	0,030	155,301
	-	0,347	0,044	0,100	0,535	0,040	3,000	97,192	0,238	241,155
	-	0,193	0,009	0,200	0,457	0,007	6,000	90,722	0,005	124,404
	-	0,425	0,016	0,150	0,448	0,017	9,090	61,863	0,039	122,204
	-	0,278	0,022	0,100	0,443	0,023	10,000	79,274	0,069	139,380
	-	0,291	0,023	0,150	0,618	0,021	8,000	100,000	0,059	354,132
	-	0,058	0,001	0,250	0,265	0,000	5,000	48,198	0,000	29,949
	-	0,220	0,003	0,200	0,488	0,002	5,105	76,175	0,000	174,557
	-	0,108	0,001	0,200	0,457	0,000	6,000	80,509	0,000	90,749
	-	0,081	0,000	0,150	0,432	0,000	3,000	34,575	0,000	26,554
Média	-	0,273	0,018	0,170	0,414	0,017	5,451	60,005	0,174	115,932
Área de Transição	-	1,253	0,863	0,190	0,712	0,362	8,421	93,269	28,488	514,152
	0,079	0,708	0,024	0,170	0,584	0,025	19,887	78,997	0,083	317,905
	-	0,301	0,005	0,230	0,439	0,004	18,743	56,578	0,001	95,606
	-	0,323	0,020	0,150	0,568	0,020	39,413	49,118	0,052	70,409
	-	0,684	0,060	0,300	0,576	0,054	42,017	84,233	0,452	271,224
	3,787	1,185	1,911	0,260	0,842	0,829	97,925	90,023	173,127	173,617
	4,629	0,782	0,329	0,260	0,726	0,257	14,940	88,473	13,568	229,559
	0,102	1,056	0,208	0,180	0,686	0,134	25,495	94,132	3,277	529,174
	-	0,514	0,004	0,210	0,542	0,003	8,434	59,635	0,001	134,641
	-	0,172	0,001	0,250	0,315	0,001	18,182	25,980	0,000	23,413
	-	0,341	0,002	0,150	0,285	0,002	39,413	13,600	0,000	16,767
	4,167	1,188	1,797	0,260	0,813	0,777	98,190	88,864	150,441	157,775
	6,250	0,783	0,330	0,260	0,726	0,258	14,800	88,458	13,628	228,844
	5,000	0,959	1,560	0,280	0,706	0,687	97,727	65,383	114,879	86,466
	4,464	0,725	0,409	0,240	0,677	0,266	15,323	83,749	14,672	198,275
Média	3,560	0,732	0,502	0,230	0,613	0,245	37,261	70,699	34,178	203,188

LEGENDA: V – Velocidade de propagação do fogo; C – Comprimento das chamas; CM – Consumo do material combustível; EFSS – Eucalyptus Fire Safety System; BP – BehavePlus.

**Espaços tracejados incidam valores nulos de velocidade durante a realização do experimento.*

6.3.2 Avaliação do comportamento do fogo observado nas fitofisionomias

A análise de variância e o teste de Tukey evidenciam diferenças significativas entre os valores reais do comportamento do fogo nas três fitofisionomias (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação entre os parâmetros do comportamento do fogo avaliados nas distintas fitofisionomias do Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil.

Parâmetros médios do comportamento do fogo			
Fitofisionomias	V (m/min)	C (m)	CM (%)
Bambuzal	1,148a	0,309a	61,250a
Mata Fechada	0,000b	0,165b	5,451b
Área de Transição	1,898a	0,225ab	37,260a

LEGENDA: V – Velocidade de propagação do fogo; C – Comprimento das chamas; CM – Consumo do material combustível.

**Letras minúsculas comparam as fitofisionomias (colunas);*

**Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.*

Com relação à velocidade de propagação e ao comprimento das chamas, não houve diferenças significativas entre as fitofisionomias de Bambuzal e de Transição, no entanto, a velocidade de propagação nas áreas de Mata Fechada diferiu significativamente das outras duas. O comprimento das chamas nas matas também foi significativamente diferente quando comparado com a área de Bambuzal, porém, não quando comparado com a Área de Transição.

No que diz respeito ao consumo do material combustível, é possível perceber que as fitofisionomias de Bambuzal (61,250%) e de Transição (37,260%) não diferem entre si, mas diferem das fitofisionomias de Mata Fechada (5,451%).

Durante as queimas em laboratório, as diferenças do comportamento do fogo foram bem evidentes. O material combustível das fitofisionomias de Bambuzal, por exemplo, era rapidamente consumido pelo fogo, com um tempo médio de 56 segundos desde a linha de ignição até a linha final. Diferentemente das áreas de Mata Fechada, onde as chamas não conseguiram se propagar até o final e boa parte do leito permaneceu intacto (Figura 6).



Figura 6. Estado do material combustível pós-queima. A – Bambuzal. B – Mata Fechada.

Foto: Marcus Noronha.

Dentre as explicações para essas diferenças de comportamento do fogo entre as fitofisionomias selecionadas para esse estudo, a mais plausível, diz respeito ao teor de umidade do material combustível durante a realização dos experimentos. Nesse caso, o material combustível coletado nas fitofisionomias de Mata Fechada apresentou, em média, os maiores valores de teor de umidade do material combustível (23,41%) (Figura 7).

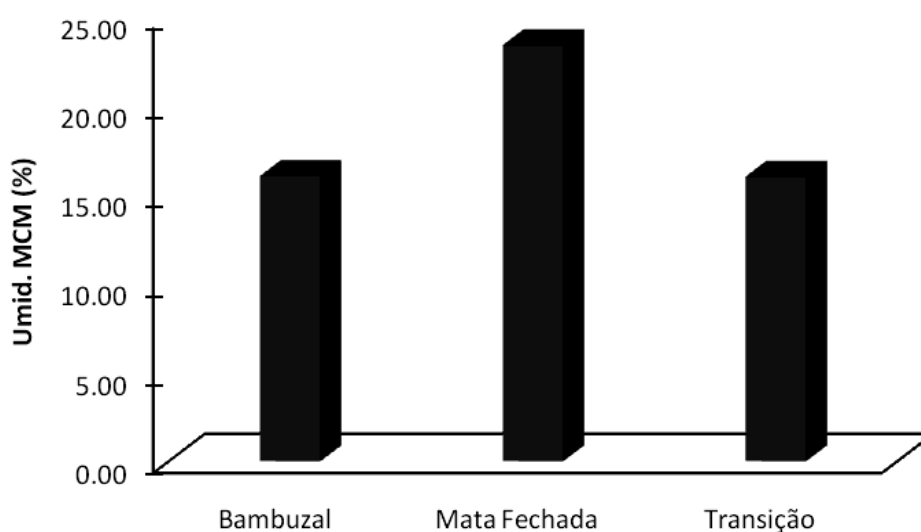


Figura 7. Teor de umidade médio do Material Combustível Morto – MCM nas diferentes fitofisionomias.

Segundo Alves *et al.*, (2009), o teor de umidade do material combustível morto exerce papel preponderante na ocorrência de um incêndio florestal, atuando de maneira inversamente proporcional na propagação do fogo. Dessa forma, as áreas de Mata Fechada seriam as que oferecem o menor risco de incêndios no RVSMJ e caso isso ocorresse, suas chamas curtas e o seu baixo consumo de biomassa, tornariam o combate mais rápido.

Pereira *et al.*, (2012) afirmam que além do teor de umidade do material morto, outros fatores podem estar associados à maior ou menor propagação do fogo, entre eles variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa do ar, pluviosidade e velocidade dos ventos. No entanto, White e Ribeiro (2011), demonstram que a influência dessas variáveis é bastante heterogênea em determinadas fitofisionomias do país e pode variar muito de um ano

para outro, o que dificulta muitas vezes o estabelecimento de programas de combate e prevenção aos incêndios florestais.

Além disso, a compactação do material combustível durante as queimas experimentais também pode ter influenciado na velocidade de propagação das chamas. White (2014), explica que quanto maior a densidade do material combustível no leito florestal, mais lenta será a velocidade de propagação das chamas.

Essa situação pode ser observada durante os experimentos com o material coletado das Áreas de Transição. Constituído, principalmente, por gramíneas e ciperáceas, ao ser colocado na mesa de combustão, sua densidade foi menor do que em outros experimentos, permitindo, assim, o fluxo de ar por entre o material, o que contribuiu diretamente para o fornecimento do comburente (oxigênio) e, conseqüentemente, a rápida propagação das chamas.

6.3.3 Comparação dos parâmetros de comportamento do fogo entre os softwares

Ao compararmos os valores médios reais dos parâmetros inerentes ao comportamento do fogo, com os valores médios obtidos a partir da simulação com os *softwares*, é possível perceber que existiram diferenças significativas entre os mesmos (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação entre os parâmetros do fogo, quanto aos valores reais e os softwares avaliados.

Fitofisionomias	Parâmetros do comportamento do fogo									
	V (m/min)			C (m)			CM (%)		I (Kw/m/s)	
	Real	EFSS	BP	Real	EFSS	BP	Real	EFSS	BP	EFSS
Bambuzal	1,148A	0,969A	0,888A	0,309B	0,646A	0,461AB	61,250A	81,717A	89,254B	226,071A
Mata Fechada	0,000B	0,272A	0,018B	0,165B	0,413A	0,016C	5,451B	60,004A	0,173B	115,931A
Área de Transição	1,898A	0,731AB	0,501B	0,225B	0,613A	0,245B	37,260B	70,699A	34,177B	203,188A

LEGENDA: V – Velocidade de propagação do fogo; C – Comprimento das chamas; CM – Consumo do material combustível; EFSS – Eucalyptus Fire Safety System; BP – BehavePlus.

**Letras maiúsculas comparam valores reais e os softwares (linhas);*

* *Valores seguidos da mesma letra não diferentes estatisticamente, a 5% de significância, pelo Teste de Tukey.*

Com relação à velocidade de propagação do fogo, é possível perceber oscilações entre os valores reais e os valores obtidos das simulações nos *softwares*. Na fitofisionomia de Bambuzal, não existiram diferenças significativas entre as três situações, no entanto, na Mata

Fechada ocorreu uma divergência entre os valores reais e os simulados pelo EFSS. Nas Áreas de Transição, isso também acontece, só que entre o BP e os valores reais.

No comprimento das chamas, essas diferenças também ocorrem. Nas fitofisionomias de Mata Fechada, por exemplo, os valores apresentados nas três situações diferiram entre si. Na área de Bambuzal e de Transição, valores simulados pelo BP não apresentaram diferença significativa quando comparado aos valores reais.

O consumo do material combustível após a queima não é mensurado pelo software BP. Dessa forma, a comparação entre os valores reais foram feitas apenas com os valores simulados pelo EFSS. Os resultados apontaram diferenças significativas nas fitofisionomias de Mata Fechada e as Áreas de Transição. Nas áreas de Bambuzal os valores reais e simulados não apresentaram diferença significativa.

O último parâmetro analisado, a intensidade da linha de fogo, foi modelado apenas pelos dois softwares em função da impossibilidade da obtenção deste valor durante os experimentos. Nessa comparação, as diferenças se acentuam mais ainda, uma vez que, em nenhuma das três fitofisionomias, houve semelhanças entre os valores apresentados por ambos os *softwares*.

Essas diferenças estão associadas, principalmente, aos modelos matemáticos utilizados para a construção de cada um dos *softwares* utilizados. O EFSS (White, 2014), por exemplo, foi construído a partir de simulações com liteira de eucalipto. Nesse tipo de ambiente, a composição química e a estrutura física do material combustível são diferentes dos encontrados no RVSMJ. Esses fatores possuem influência direta sobre os processos de inflamabilidade e combustibilidade do material (BEUTLING, 2005)

Segundo Vélez (2000), a inflamabilidade do material combustível diz respeito ao tempo que um determinado combustível leva para entrar em ignição. Já o conceito de combustibilidade, está relacionado à quantidade de calor liberada pelas chamas que, por sua vez, deve atingir um ponto ideal para manter a combustão e, conseqüentemente, se propagar

por todo o estrato florestal. Sendo assim, é possível que numa mesma floresta sejam encontrados combustíveis com potencial de ignição variados, o que torna o comportamento do fogo bastante heterogêneo e difícil de ser avaliado.

Além disso, estudos realizados por Rego e Botelho (1990) apontam que devem ser realizados também trabalhos fisiológicos e fenológicos para verificar a composição mineral de cada tipo de combustível florestal, uma vez que esta composição pode exercer algum tipo de influência sobre a ignição do material que está sendo queimado.

Beutling (2005) reforça essas diferenças na constituição de cada tipo de material combustível, demonstrando que o grau de inflamabilidade tende a ser decrescente, de acordo com o estágio de desenvolvimento do material verde: frutificação; dormência; floração; brotação e crescimento ativo; e desenvolvimento aéreo da planta.

Fato esse, que também pode ser observado por Souza *et al.*, (2003), os quais realizaram um trabalho de modelagem de material combustível em áreas de plantações de *Pinus taeda* e observaram correlações significativas entre a idade do plantio, o diâmetro na altura do peito – DAP, a espessura da camada de acículas e carga do material combustível produzido pelas plantações.

Por outro lado, em se tratando do BP, este não foi produzido para situações tão específicas, como as liteiras de eucalipto, por exemplo. Nele, é possível encontrar 56 modelos padrões de material combustível, descritos por Scott e Burgan (2005), o que de certa forma reduz o esforço do pesquisador nos trabalhos de campo para a determinação das variáveis de entrada, tornando-o, assim, o mais utilizado entre gestores de recursos florestais no mundo inteiro (ANDREWS, 2010).

Entretanto, vale ressaltar que estes modelos foram produzidos com intuito de caracterizar as fitofisionomias norte-americanas e não as brasileiras. Em função disso, diversos trabalhos apontam para a necessidade de customização de modelos de material combustível, com dados obtidos durante a realização dos experimentos (BURGAN, 1987;

GRABNER *et al.*, 1997; FERNANDES, 2002; REINHARDT e KEANE, 2009; WHITE *et al.*, 2013).

O presente trabalho foi realizado dessa forma, e mesmo assim, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores reais de velocidade propagação do fogo nas Áreas de Transição (1,898 m/min) e os do BP (0,501 m /min), bem como entre os valores reais de comprimento das chamas nos ambientes de Mata Fechada (0,165 m) e os do BP (0,016 m). Isso indica que mesmo utilizando modelos de material combustível similares aos do RVSMJ, é praticamente impossível se ter controle sobre todos os fatores que têm influência direta sobre o comportamento do fogo, tais como as variáveis climáticas, obtidas durante a realização dos experimentos, por exemplo.

6.3.4 Avaliação

De modo geral, a eficiência dos *softwares* para o refúgio pode ser apresentada de acordo com a tabela a seguir (Tabela 5).

Tabela 5. Número de acertos entre os valores obtidos experimentalmente e àqueles simulados pelos *softwares*.

Parâmetros	Número de acertos	
	BP	EFSS
Velocidade de propagação do fogo	02	02
Comprimento das chamas	02	-
Consumo do material combustível	▲	01
Intensidade da linha de fogo	*	*
Total	04	03

LEGENDA: BP – BehavePlus; EFSS – Eucalyptus Fire Safety System; ▲ – parâmetro não mensurado pelo software; * - valores divergentes para as três fitofisionomias.

Nela é possível observar que, mesmo o BP apresentando um número maior de acertos em relação ao EFSS, no parâmetro velocidade de propagação do fogo, ambos obtiveram igual número de acertos em relação às queimas experimentais. Além disso, divergiram estatisticamente em todas as três fitofisionomias, no que diz respeito aos valores simulados de intensidade da linha de fogo.

A eficiência do BP apresenta-se maior do que o EFSS somente no parâmetro comprimento das chamas, uma vez que o EFSS, em nenhuma das simulações se aproximou

dos valores observados experimentalmente. No entanto, o EFSS possibilita o cálculo do consumo de material combustível, o que não é possível com o BP.

Em outras palavras, não se pode afirmar que um software seja melhor do que o outro, mas sim, que a utilização de cada um por parte do pesquisador, estará intrinsecamente relacionada às condições climatológicas do local e ao tipo de material combustível utilizado.

Dessa forma, o presente trabalho demonstra a necessidade de se incentivar cada vez mais a elaboração de *softwares* genuinamente brasileiros, os quais possam ser capazes de se aproximar um pouco mais da diversidade biótica e abiótica do país, gerando, assim, menos distorções. No caso de áreas naturais protegidas da Mata Atlântica, isso se torna imprescindível, uma vez que seus fragmentos resguardam um alto valor biológico.

6.5. Conclusões

É possível concluir que, em termos gerais, as distintas formações vegetais nesse trabalho apresentaram comportamentos diferentes, no que diz respeito aos parâmetros avaliados do comportamento do fogo. Um dos fatores que contribuíram para tais diferenças foi o teor de umidade dos materiais combustíveis utilizados nos experimentos.

Em determinados casos, os *softwares* utilizados para modelagem do comportamento do fogo, apresentam diferenças significativas dos valores obtidos experimentalmente. Isso dificulta a elaboração de planos operacionais de prevenção e combate aos incêndios florestais, baseando-se apenas em simulações experimentais. Sendo assim, se recomenda estudos mais aprofundados para criação de modelos matemáticos mais condizentes com realidade dos biomas brasileiros.

6.6. Referências Bibliográficas

- ALVES, M. V. G.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; KOEHLER, H. S.; PEREIRA, J. F. Modelagem de umidade do material combustível, baseada em variáveis meteorológicas. **Floresta**, v. 39, n.1, p.167-174, 2009.
- ANDREU, A. G.; SHEA, D.; PARRESOL, B. R.; OTTMAR, R. D. Evaluating fuel complexes for fire hazard mitigation planning in the southeastern United States. **Forest Ecology and Management**, v.273, p.4-16, 2012.

ANDREWS, P. L. Do you Behave? - Application of the BehavePlus Fire Modeling System. In: 3rd Fire Behavior and Fuels Conference. **Proceedings...** Spokane, 2010. 17p.

ANDREWS, P. L.; BEVINS, C. D.; SELI, R. C. **BehavePlus Fire Modeling System Version 2.0 User's Guide**. USDA Forest Service, Ogden, 2003. 133 p. (General Technical Report RMRS-GTR-106WWW).

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BEUTLING, A. **Modelagem do Comportamento do Fogo com Base em Experimentos Laboratoriais e de Campo**. 2009, 121f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2009.

BURGAN, R. E. **Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling**. Ogden: USDA Forest Service, 1987. (General technical report GTR-INT, 238).

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, v.143, p.1-10, 2005.

DANTAS, T. V. P.; RIBEIRO, A. de S. Caracterização da vegetação do Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe – Brasil. **Biotemas**, v.23, n.4, p.9-18, 2010.

DANTAS, T.V.P.; RIBEIRO, A.S.; NASCIMENTO-JÚNIOR, J.E.; MACHADO, A.; CRISTINA, K.; SANTOS, C.S. 2007. **Caracterização florística**. In: Estudo técnico para a criação do Refúgio de Vida Silvestre da Mata do Junco, Capela, Sergipe (Sergipe. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, org.). UFS, São Cristóvão, p.12-15.

FERNANDES, P. A. M. **Desenvolvimento de relações preditivas para uso no planejamento de fogo controlado em povoamentos de Pinus pinaster Ait**. 2002. 285f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Ciências Florestais) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2002.

FERNANDES, P. M.; RIGOLOT, E. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Forest Ecology and Management**, v.241, p.1-13, 2007.

FINNEY, M. A. **FARSITE: fire area simulator - model development and evaluation**. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, 2004. 47 p. (Research Paper RMRS-RP-4 Revised).

FONTES, A. L. **Caracterização geoambiental da bacia do rio Japarutuba (SE)**. 1997. 298p. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1997.

GRABNER, K.; DWYER, J.; CUTTER, B. Validation of Behave Fire Behavior Predictions in Oak Savannas using five fuel models. In: PALLARDY, S. G.; CECICH, R. A.; GARRETT, E. H.; JOHNSON, P. S. (Eds). XI Central Hardwood Forest Conference. **Proceedings...** USDA Forest Service, Columbia, p. 202-215, 1997. (General Technical Report NC-188).

GRIER, C. C.; ELLIOTT, K. J.; McCULLOUGH, D. G. Biomass distribution and productivity of *Pinus edulis-Juniperus monosperma* woodlands of north-central Arizona. **Forest Ecology and Management**, v.50, p.331-350, 1992.

KOCHANSKI, A. K.; JENKINS, M. A.; MANDEL, J.; BEEZLEY, J. D.; KRUEGER, S. K. Real time simulation of 2007 Santa Ana fires. **Forest Ecology and Management**, v.294, p.136-149, 2013.

KREYE, J. K.; BREWER, N. W.; MORGAN, P.; VARNER, J. M.; SMITH, A. M. S.; HOFFMAN, C. M.; OTTMAR, R. D. Fire behavior in masticated fuels: A review. **Forest Ecology and Management**, v.314, p.193-207, 2014.

MALTA, J. A. O.; SOUZA, H. T. R. de; SOUZA, R. M e. A contraditória relação sociedade-natureza em espaços territoriais protegidos – Mata do Junco, Capela/SE. **Geografia em questão**, v.4, n.1, p.126-152, 2011.

MEDEIROS, M. B. de; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.157-168, 2003.

PEREIRA, J. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Variação da umidade do material combustível florestal em função de índices de perigo de incêndios. **Cerne**, v.18, n.3, p.371-376, 2012.

REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990. 124p.

REINHARDT, E.; KEANE, B. FOFEM: The First-Order Fire Effects Model Adapts to the 21st Century. **Forest Science Brief**, v.62, p.1-6, 2009.

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**, v.4, n.1, p. 58-72, 1998.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SILVA, I. C. Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia mato-grossense, Brasil. **Floresta**, v.41, n.2, p.257-270, 2011.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, 1972. 40p. (Research Paper INT-115).

SANJUAN, G.; BRUN, C.; MARGALEF, T.; CORTÉS, A. Wind field uncertainty in Forest fire propagation prediction. **Procedia Computer Science**, v.29, p.1535-1545, 2014.

SANTOS, M.J.S.; SOUZA, H.T.R.; SOUZA, R.M. Biomonitoramento através de indicadores ambientais abióticos - Mata do Junco (Capela-SE). **Scientia Plena**, v.3, n.5, p.142-151, 2007.

SCOTT, J. H.; BURGAN, R. E. **Standard fire behavior fuel models**: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, 2005. 72 p. (General Technical Report RMRS-GTR-153).

SOUZA, L. J. B.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Modelagem do material combustível superficial em povoamentos de *Eucalyptus dunnii*, em Três Barras, SC. **Revista Cerne**, v.9, n.2, p.231-245, 2003.

VÉLEZ, R. (Coord.). **La Defensa contra Incendios Forestales: Fundamentos y Experiencias**. España. 2000. Paginação irregular.

WHITE, B. L. A. **Modelagem matemática e avaliação do comportamento do fogo em liteira de eucalipto**. 2014. 190f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. de S. Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.6, n.1, p.148-156, 2011.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.73, p.73-84, 2013.