

Geotecnologias aplicadas no mapeamento da susceptibilidade de ocorrência de incêndios

Elisiane Alba¹
Juliana Marchesan¹
Cristina Tabarelli¹
Juliana Tramontina²
Rudiney Soares Pereira¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Caixa Postal 5082 – 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
{elisianealba, marchesan.ju, cristinatabarelli, rudiney.s.pereira}@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/PPGSR
Caixa Postal 91509-900 – Porto Alegre - RS, Brasil
{ju_tramontina}@hotmail.com

Abstract. This study aimed zoning of the areas of greatest susceptibility to the occurrence of fires in Taim Ecological Station by Landsat 8 images, considering the integrated effect of static and dynamic variables. As static variables were used the declivity and the distance from roads, while the temperature and the use and land cover comprise the dynamic variables. The variables were classified as low, moderate and high susceptibility to occurrence of fire, being subsequently assigned weights ranging from one to three. Thematic maps were integrated using a weighted mathematical equation, resulting in spatial representation of the fire risk zoning. With the results of this study, can identify the areas most prone to fires, thus it was found that the 5668.83 ha (55.73% of total area) showed low susceptibility to occurrence of fires in the study area, while areas with high risk of fire occupy 4326.03 ha, covering 42.53%. This study shows that the areas of highest risk of fires are located in the central part of the Taim Ecological Station and next to the roads, thus these sites require more attention and resources to combat possible outbreaks of fires. The use of geotechnology facilitates decision making and fire prevention strategies to ensure the preservation of biodiversity existing.

Palavras-chave: remote sensing, fire, protected areas, sensoriamento remoto, fogo, áreas de conservação.

1. Introdução

O bioma Marinho Costeiro apresenta grande extensão geográfica, situando-se ao longo do litoral brasileiro, englobando diferentes ecossistemas como manguezais, dunas, restingas e corais (ICMBio, 2016). As áreas costeiras apresentam grande concentração urbana, o que influencia diretamente na manutenção da biodiversidade desses ambientes (Saito, 2006). Visando a conservação dos recursos naturais desse bioma presente no estado do Rio Grande do Sul, a Estação Ecológica do Taim (Esec do Taim) foi criada pelo Decreto Federal nº 92.963, de 21 de julho de 1986, sendo classificada como Unidade de Conservação de Proteção Integral cuja principal função é a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana (Simioni e Wollmann, 2016).

A Esec do Taim abriga inúmeras espécies endêmicas, apresentando papel fundamental na manutenção das diversas formas de vida presentes nesse ambiente. Entretanto, nos últimos anos, a Esec tem sofrido com periódicos incêndios, os quais tomaram proporções preocupantes, colocando em risco as inúmeras espécies que se encontram preservadas, conforme demonstrado por Costa et al. (2014).

O fogo apresenta algumas vantagens como o desbaste natural de gramíneas e quebra de dormência de sementes (Lemes et al. 2014), porém quando se perde o controle, passa a ser um incêndio, e esse pode ter consequências desastrosas ao ecossistema local, aniquilando diversas formas de vida. Assis et al. (2014) consideram que a ocorrência de incêndios está ligada, especialmente, a variáveis climáticas, composição vegetal e o relevo. Neste contexto, a

prevenção de incêndios e o rápido combate apresenta grande importância para a preservação e conservação desses ecossistemas protegidos por Lei.

Atualmente existem diversos métodos para a detecção de incêndios (Aguiar et al., 2015), porém a grande maioria demanda de recursos financeiros e humanos. As geotecnologias foram utilizadas por Costa et al. (2014) para identificar e quantificar o incêndio ocorrido em 2013 com sensor MODIS, os quais demonstraram que o incêndio atingiu aproximadamente cinco mil hectares da Esec do Taim. Neste sentido, o sensoriamento remoto representa uma ferramenta primordial, de baixo custo que pode ser utilizado na detecção de focos de calor e incêndios, permitindo de modo eficiente o seu controle, além de auxiliar no planejamento para a prevenção de futuros incêndios.

Este estudo tem por objetivo o mapeamento das áreas susceptíveis a ocorrência de incêndios na Estação Ecológica do Taim por meio de imagens OLI e TIRS do satélite Landsat 8 e da avaliação de variáveis dinâmicas e estáticas que se relacionam a esse fenômeno.

2. Metodologia de Trabalho

A Esec do Taim está localizada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, abrangendo aproximadamente 11 mil hectares (ICMBio, 2016), situando-se entre as coordenadas 32°35'50" a 32°49'13" de latitude Sul e 52° 23' 45' a 52° 41' 12" de longitude Oeste. A Esec localiza-se dentro do bioma Marinho Costeiro, em litoral lagunar, mas em duas ecorregiões com vegetação distintas: os Campos Sulinos e a Vegetação de Restingas da Costa Atlântica (Simioni e Wollmann, 2016).

O limite da Esec do Taim foi obtido por meio do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A análise espacial contou com dados da imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI e TIR, na órbita-ponto 221-83 datada em 09 de fevereiro de 2015. Utilizou-se também, o Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir da Imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtida do banco de dados da Embrapa. O processamento e análise das imagens foi desenvolvida no software SPRING versão 5.3, juntamente com seu módulo de Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), o qual foi utilizado para a ponderação dos mapas temáticos.

2.1 Uso e cobertura da terra

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra utilizou-se o algoritmo de classificação supervisionada *Bhattacharya*, contando com os parâmetros de similaridade e área nos valores de 30 e 50, respectivamente. Em seguida foi realizado o processo de aquisição de amostras, para a elaboração do mapeamento temático, para tal definiu-se seis classes: "Floresta", "Campo", "Agricultura", "Solo Exposto", "Área Alagada" e "Água". Os pesos foram atribuídos seguindo a adaptação da metodologia de Prudente (2010), distribuídos de acordo com a amplitude dos dados do trabalho em estudo. Cada classe temática recebeu um valor, referente a sua influência na ocorrência de incêndios, sendo classificada em Baixa, Moderada e Alta (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de risco do fator uso e cobertura da terra.

Fisionomia	Combustibilidade da Vegetação	Pontuação
Água, Área Alagada	Baixa	1
Floresta, Solo exposto	Baixa	1
Agricultura	Moderada	2
Campo	Alta	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2010).

2.2 Distância das estradas

Segundo Ferraz e Vettorazzi (1998) as áreas próximas às rodovias estão relacionadas a alto risco de incêndios, devido as mesmas serem sujeitas a incêndios de veículos e cargas. Assim, o mapa de proximidade das estradas foi obtido por meio da malha viária do estado do Rio Grande do Sul, elaborando uma zona de amortecimento fixada de 50 metros de distância das estradas. Os pesos foram atribuídos com base na adaptação da metodologia de Prudente (2010). Desse modo, até 50 metros da estrada, considerou-se influente recebendo peso 3 e acima da zona de amortecimento, não sendo influente, recebendo o valor 0.

2.3 Declividade

Mapa de declividade foi desenvolvido a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, definindo quatro classes de declividade para a atribuição de pesos, variando de 1 a 3. Os pesos foram atribuídos seguindo adaptação da metodologia de Chuvieco e Congalton (1989). Desse modo, relacionou-se o grau de inclinação em função de sua influência na propagação do fogo (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de susceptibilidade ao fogo e declividade.

Declividade (%)	Susceptibilidade ao Fogo	Pontuação
< 3	Baixa	1
3 – 5	Baixa	1
5 – 10	Moderada	2
> 10	Alta	3

Fonte: Adaptado de Chuvieco e Congalton (1989).

2.4 Temperatura de superfície

Para a realização do cálculo de temperatura de superfície, foi necessário realizar o processo de conversão dos níveis de cinza à reflectância de superfície, conforme demonstrado no estudo de Alba et al. (2016). De acordo com a amplitude da temperatura, realizou-se a distribuição das classes e seus respectivos pesos (Tabela 3).

Tabela 3. Classes de susceptibilidade ao fogo em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Susceptibilidade ao Fogo	Pontuação
< 24	Baixo	1
24 – 26	Moderado	2
> 26	Alto	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2010).

2.5 Operação de álgebra entre mapas temáticos e de susceptibilidade de fogo

Foram gerados para cada uma das variáveis descritas acima, o mapa de suscetibilidade com classes variando entre alta, moderada e baixa. Posteriormente, esses mapas foram integrados utilizando uma equação matemática ponderada, adaptada com base na metodologia de Prudente (2010), na qual, essa equação é usada para modelar o mapa de risco final, gerando uma representação espacial com as classes de susceptibilidade à incêndios: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. O modelo de integração dos dados está expresso pela Equação 1.

$$\text{RISCO} = 50\text{USO} + 20\text{T} + 15\text{DEC} + 15\text{DE} \quad (1)$$

Em que: USO = Uso e cobertura da terra; T = Temperatura; DEC = Declividade; DE = Distância de Estradas.

As variáveis utilizadas foram adaptadas da metodologia de Prudente (2010), de modo que a variável uso e cobertura da terra recebeu o maior peso (50), uma vez que o fogo está diretamente relacionado com a presença de material combustível. A temperatura da superfície recebeu peso 20 pois apresenta forte relação com a incidência de fogo. As variáveis declividade e distância das estradas foi atribuído peso 15. De acordo com os valores máximos e mínimos, procedeu-se com o fatiamento nas classes de susceptibilidade ao fogo.

3. Resultados e Discussão

As variáveis que foram consideradas importantes na incidência e/ou propagação dos incêndios estão demonstradas na Figura 1. O mapa de uso e cobertura da terra evidencia as características da região, a qual apresenta banhados e áreas inundáveis. Observa-se visualmente que a área da Esec do Taim é composta principalmente por apenas uma classe de declividade, compondo um relevo plano. Do mesmo modo, há uma predominância significativa de temperatura medianas.

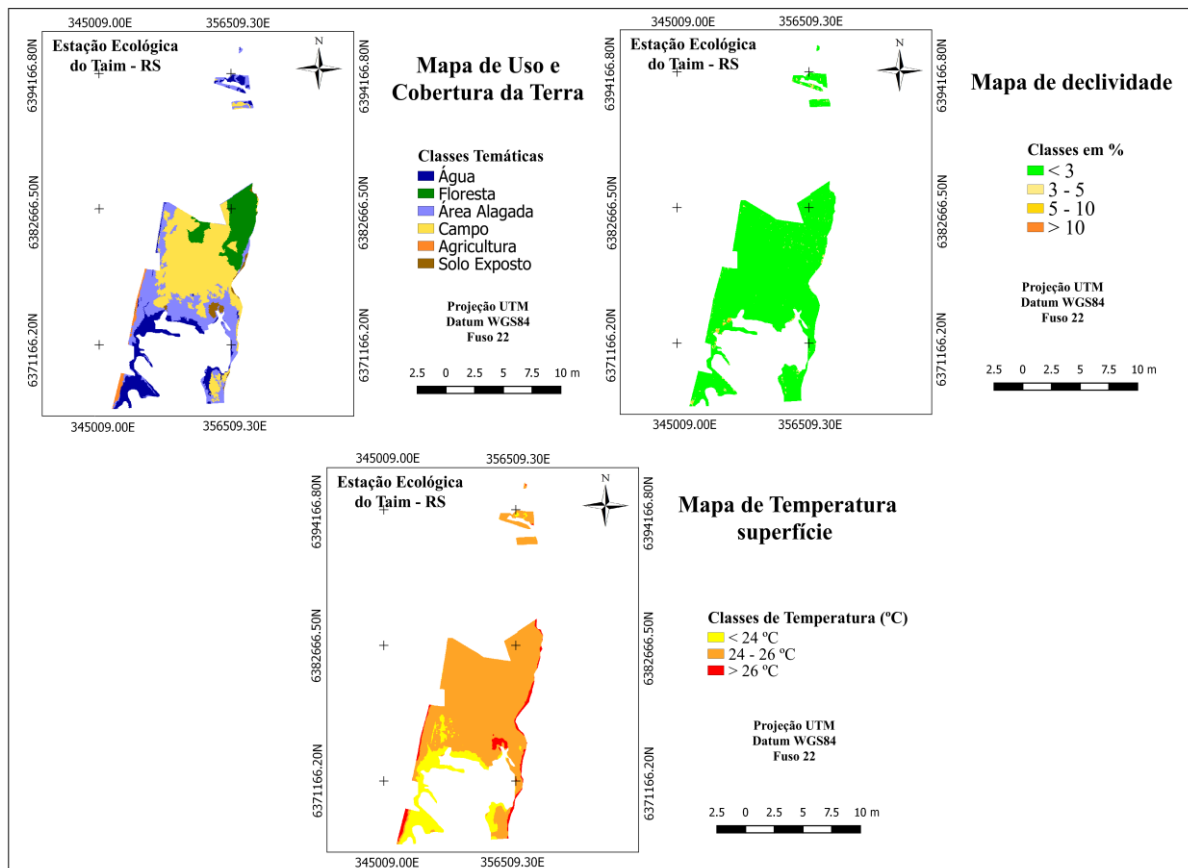


Figura 1. Variáveis de avaliação da susceptibilidade à incêndios da Esec do Taim - RS.

A Tabela 4 demonstra quantitativamente a proporção ocupada em cada uso e cobertura da terra para a Esec do Taim. Observa-se que a classe campo nativo é predominante na área de estudo, ocupando 4.367,97 ha, equivalente a 41,90%. Na sequência, as áreas alagadas, formadas pela condição do relevo e da baixa infiltração, ocupam 2.793,33, correspondendo a

26,79%. A vegetação arbórea representa 14, 45% da área de estudo, equivalente a 1.506,06 ha, sendo composta por indivíduos espaçados e de pequeno porte.

Tabela 4. Classificação de risco do fator uso e cobertura da terra.

Fisionomia	Hectares	%	Susceptibilidade ao Fogo
Água	1.413,45	13,56	Baixa
Solo exposto	178,92	1,72	Baixa
Floresta	1.506,06	14,45	Baixa
Área Alagada	2.793,33	26,79	Baixa
Agricultura	166,05	1,59	Moderada
Campo	4.367,97	41,90	Alta

A Esec do Taim é caracterizada pela predominância de campos, incluindo uma vegetação arbustiva. Destaca-se neste estudo, que o campo nativo apresenta grande susceptibilidade ao fogo, especialmente em períodos de estiagem. Essa condição pode ser um dos principais fatores da frequência de incêndios dentro da Unidade de Conservação.

As áreas de banhados ocupam uma porção significativa, possuindo papel fundamental na manutenção da diversidade de espécies desses ambientes. Entretanto, as florestas e áreas alagadas, representam baixa susceptibilidade ao fogo. A área ocupada pela Agricultura representa 1,59% da área de estudo. Com isso, pode-se observar que as classes Campo e Agricultura são as categorias que apresentam respectivamente alta e moderada susceptibilidade ao fogo, compreendendo juntas 42,79% da área total.

A Esec localiza-se às margens da BR 471, que cruza parte da Estação Ecológica. Entretanto, apenas 16,11 ha (0,15%) estão sob a influência do sistema viário, sendo que esse trecho apresenta alta susceptibilidade ao fogo (Tabela 5). Essa classificação é decorrente da ação humana elevar as chances de transferir para a via objetos inflamáveis e/ou acidentes que podem causar incêndios e este, se espalhar sob a Unidade de Conservação.

Tabela 5. Área ocupada pelas estradas na Esec do Taim- RS.

Distância das estradas	Área (ha)	%	Pontuação
0 m – 50 m	16,11	0,15	Alta
> 50 m	10.516,50	99,85	Baixa

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a declividade é predominantemente plana, de modo que 10.271,61 ha (98,31%) estão situados sob declividade menor que 3%. Para Prudente (2010), terrenos planos possuem menor contribuição ao avanço de incêndios que terrenos mais declivosos, desse modo, a maior parte da área estudo apresenta baixa susceptibilidade ao fogo.

Tabela 6. Área ocupada pelas classes de declividade na Estação Ecológica do Taim- RS.

Declividade (%)	Hectares	%	Susceptibilidade ao Fogo
< 3	10.271,61	98,31	Baixa
3 – 5	144,00	1,38	Baixa
5 – 10	29,88	0,28	Moderada
> 10	2,97	0,03	Alta

A temperatura tem efeito importante na incidência de incêndios, influenciando tanto na ignição, como na manutenção e propagação de incêndios. A Tabela 7 expõe a quantificação da área em hectares ocupados em cada classe da temperatura.

Tabela 71. Quantificação da área ocupada em cada classe de temperatura na Estação Ecológica do Taim - RS.

Temperatura (°C)	Hectares	%	Susceptibilidade ao Fogo
< 24	1.600,47	15,32	Baixo
24 – 26	8.412,93	80,52	Moderado
> 26	434,43	4,16	Alto

Conforme se observa, temperaturas inferiores à 24°C, são verificadas em 1.600,47 ha, equivalente a 15,32% da área de estudo, sendo classificadas como baixa susceptibilidade ao fogo. Temperaturas que variam entre 24°C à 26°C, abrangem 8.412,93 (80,52%), indicando moderada susceptibilidade ao fogo. Por fim, temperaturas superiores à 26°C, ocupando 434,43 ha (4,16%) da Esec do Taim, indicam alta susceptibilidade ao fogo.

O cruzamento das variáveis resultou no mapa numérico de susceptibilidade à ocorrência de incêndios, demonstrando a combinação dos diferentes fatores, obtendo valores entre 65 e 225 (Tabela 8). Assim, obteve-se cinco classes referentes ao grau de susceptibilidade à incêndios.

Tabela 8. Definição de fatias para as classes de susceptibilidade.

Fatiamento	Classes
65 – 97	Muito Baixo
97 – 129	Baixo
129 – 161	Moderado
161 – 193	Alto
193 - 225	Muito Alto

A Figura 2 ilustra o mapa de susceptibilidade à incêndios da Esec do Taim, demonstrando que a parte central apresenta grande propensão a incêndios, correspondendo a 4.326,03 ha (42,53%). Entretanto, 5.668,83 ha (55,73%) obtiveram a classificação Muito baixa para a ocorrência de incêndios.

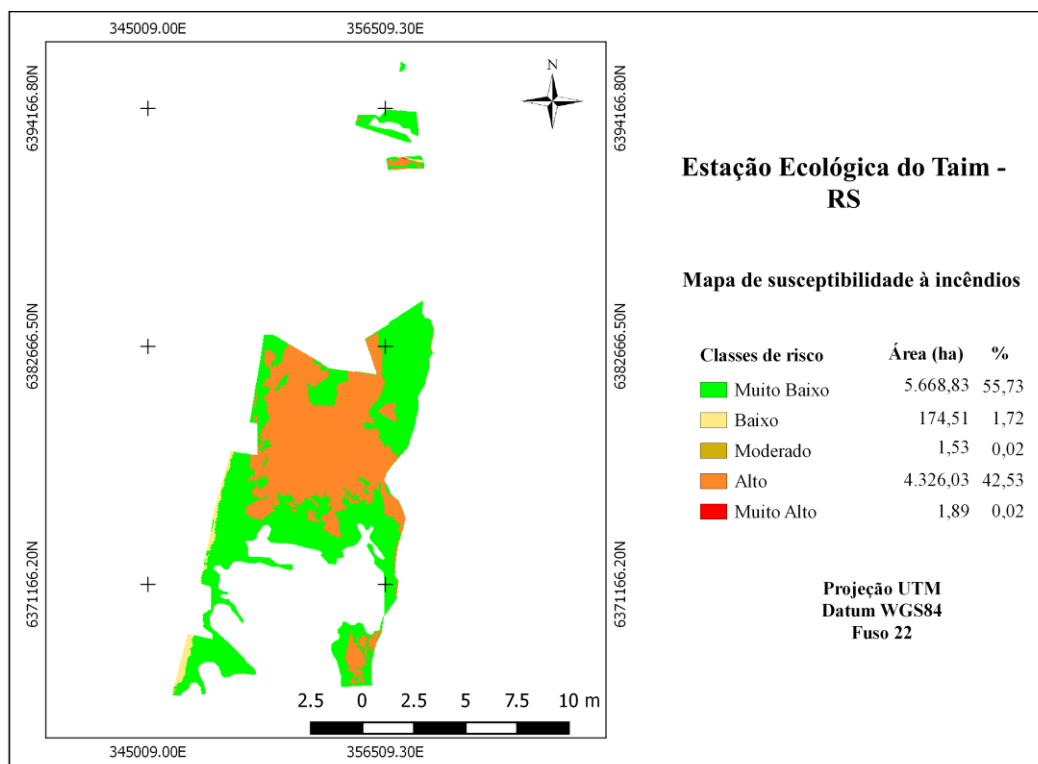


Figura 2. Mapa de susceptibilidade de risco de incêndio da Esec do Taim - RS.

As classes de menor susceptibilidade a ocorrência de incêndios inclui áreas com cobertura florestal e área alagadas. As áreas com alto risco de incêndios concentram-se em solos cobertos por vegetação rasteira e com temperaturas entre 24°C e 26°C, condições essas, propícias para incidência de fogo.

Aguiar et al. (2015) elaboraram o zoneamento de risco de incêndios florestais para o Parque Nacional da Chapada do Veadeiros, o qual apresenta um vasto histórico de incêndios. Coura et al. (2010) realizam estudo sobre a susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, registrando que 63,9% do estado apresentou alta susceptibilidade a ocorrência de incêndios no período de estiagem, necessitando de maior atenção nesses períodos.

Os dados pluviométricos relacionados as mudanças climáticas ocorridas no ano não foram incluídas no estudo. No entanto, essa variável pode ser incorporada na formulação do risco de incêndios proposto nessa pesquisa visando maior precisão na detecção de focos de calor, uma vez que corresponde a uma ferramenta impar na prevenção e controle de incêndios.

4. Conclusões

Conclui-se que as variáveis de maior contribuição à ocorrência de incêndios na Esec do Taim correspondem ao tipo de uso e a temperatura em decorrência das características da região de estudo. O mapa de susceptibilidade demonstra que as áreas de maior risco a ocorrência de incêndios estão localizadas na parte central da Esec e próximo às estradas. Esses locais devem ter maior atenção e recursos para combate de possíveis focos de incêndios, diminuindo assim, perdas na biodiversidade ali existentes e protegidas.

O uso de geotecnologias no estudo da susceptibilidade à ocorrência de incêndios, especialmente em áreas protegidas para a conservação da biodiversidade, consiste em uma ferramenta primordial para o manejo e planejamento das estratégias de prevenção. Esse estudo vem a atender uma necessidade local, que tanto carece de informações acerca desse fenômeno.

Referências Bibliográficas

- Alba, E.; Marchesan, J.; Silva, E. A.; Mello, E. P.; Pedralli, L.; Pereira, R. S. Identificação de ilhas de calor e sua relação com a fisionomia da paisagem. In: Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, 17., 2016, Puerto Iguazu. **Anais... SELPER**, 2016. Disponível em: < <https://selperargentina2016.org/>>. Acesso: 28 out. 2016.
- Aguiar, R. D.; Santos, L. F. M.; Matricardi, E. A. T.; Batista, I. X. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1943-1957, 2015.
- Assis, F. R. V.; Mendonça, I. F. C.; Silva, J. E. R.; Lima, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido Nordeste. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2014.
- Chuvieco, E.; Congalton, R. G. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 29, p. 147-159, 1989.
- Costa, L. F. F.; Lacruz, M. S. P.; Sousa Júnior, M. A.; Alba, E.; Silva, P. S. B. Identificação e quantificação de áreas afetadas pelo incêndio na Estação Ecológica do Taim – RS em março de 2013 por meio de imagens de sensoriamento remoto. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 11., 2014, Curitiba. **Anais... Artigos**, p 428 – 434. CD-ROM, ISBN 2178-8634.
- Coura, P. H. F.; Vianna, L. G. G.; Sousa, G. M.; Fernandes, M. C.; Avelar, A. S. Estudo da suscetibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais... Recife: UFPR**, 2010. Artigos, p. 001-007. Disponível em: https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/A_227.pdf. Acesso em: 01 nov. 2016.
- Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema e informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, v. 53, p. 39-48, 1998.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Esec do Taim**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2257-esec-do-taim>. Acesso em: 29 Out. 2016.
- Lemes, G. P.; Matricardi, E. A. T.; Costa, O. B.; Leal, F. A. Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011, Guarapuava, PR. **Revista Ambientância**, v. 10, n. 1, p. 247 - 266, 2014.
- Prudente, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no parque nacional da chapada dos veadeiros e áreas de entorno**. 2010. 114 p. Dissertação [Mestrado em Geografia] – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.
- Saito, C. H. **Educação ambiental PROBIO**. Brasília: Departamento de Ecologia da Universidade Federal de Brasília/MMA, 2006, 136 p.
- Simioni, J. P. D.; Wollmann, C. A. Caracterização e variabilidade interanual da precipitação pluviométrica na Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, no período de 1996 a 2009. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 194-206, 2016.