

MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO À QUEIMADAS - LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*

Maíra Dzedzej¹
Julio Bandeira Guerra¹
Carina de Souza Rodrigues¹
Alessandro César Berredo²
Izabel Cristina Franchitto Cecarelli¹
Luciana Satiko Arasato¹
Francisco Fernandes Bernardes³

¹ Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda.
Avenida Shishima Hifumi, 3911, Parque Tecnológico, Urbanova – CEP: 12.244-000
São José dos Campos - SP, Brasil
{maira.dzedzej, julio.gruerra, carina.souza, izabel.cecarelli,
luciana.arasato}@geoambiente.com.br

² Transmissora Aliança de Energia Elétrica SA
alessandro.berredo@taesa.com.br

³ EKOCAP Consultoria e Auditoria Ltda.
franciscofernandes@ekocap.com.br

*Financiado pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica - P&D da ANEEL intitulado Projeto 0044 Faixa de Servidão – “Ações para mitigar riscos de desligamento das Linhas de Transmissão por queimadas e avaliação do método de manutenção de Faixas de Servidão IBAMA/ANEEL”

Abstract. The fire risk will be measured and mapped combining two temporal and two spatial scales, divided in three analysis periods, resulting eight fire risk models. Each one of these modeling will include meteorological data (averages, maximum and minimum of historical series). The modeling for different periods will allow an understanding of fire risk temporal behavior. The two spatial scales are different by the coverage area and risk mapping detail level (medium and high resolution scale). The first one refers to a 353 km stretch; the high resolution scale refers to a 30 km sub-range to the one there area acquired Remote Sensing data (airborne SAR, LiDAR and pairs of stereoscopic Pleiades). The ignition risk modeling will be performed through the logistic regression analysis application in order to estimate the fire occurrence probability (start), according to variables related to natural and anthropic causative agents and factors associated to fire behavior (Climate, topography and vegetation). The products of this modeling will be raster maps whose pixels will have ignition probability values. The logistic regression model does not assume data normality and it is proper to categorical variables, such as soil use and the fire occurrence, for example. From the explanatory variables coefficients it will be possible to evaluate their influence (weight) on the ignition probability.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto - SR, SIG, risco a queimadas, manutenção, linha de transmissão.

1. Introdução

No Brasil, as queimadas e os incêndios florestais estão entre os principais problemas ambientais enfrentados atualmente. Em todo o território nacional, entre 1999 e 2015, foram registrados, em média, 171 mil focos de fogo ativo por ano, sendo os meses de Agosto a Novembro os mais críticos (INPE, 2016).

A incidência de queimadas e incêndios tem efeitos prejudiciais ao ambiente, à sociedade e à economia. Quanto aos impactos que repercutem nas atividades econômicas, no setor de transmissão de energia elétrica a ocorrência de fogo representa uma importante ameaça à garantia de manutenção/continuidade dos serviços, correspondendo à uma das principais causas de desligamento de linhas de transmissão no Brasil. No período de agosto de 2014 e abril de 2016 foram registradas pela Aneel 6.467 ocorrências de desligamento, das quais 726 foram causadas por queimada ou fogo sob as Linhas de Transmissão (ANEEL, 2016). A

preocupação com as queimadas e incêndios é ainda maior para as empresas operadoras de linhas de transmissão que atravessam extensas áreas vegetadas, submetidas a regimes de chuvas irregulares e a longos períodos de estresse hídrico. Nestas condições o risco de desligamento decorrente de fogo é maior, principalmente na estação seca.

Uma série de fatores está relacionada à manutenção das áreas sob as linhas de transmissão de energia elétrica e na faixa de servidão para que não haja risco de interrupção no fornecimento de energia elétrica. Muitos deles envolvem o manejo da vegetação nessas áreas (Xavier et al., 2007). Dentre os fatores de risco de ocorrência de desligamentos, as queimadas constituem um fator que tem grande probabilidade de ter causas derivadas de ações antrópicas, como a utilização desta prática por agricultores para a limpeza e preparo do solo antes do plantio, como forma de destinação de lixo doméstico pela população, ou em empreendimentos na área da produção de carvão vegetal, por exemplo.

O mapeamento e análise de risco de fogo com emprego das tecnologias de SR e SIG configura-se como um importante instrumento de gestão e prevenção de queimadas e incêndios. A partir de modelagens espaciais baseadas nestas tecnologias é possível identificar e prever padrões de distribuição espacial e temporal das áreas mais e menos críticas ao longo da faixa de servidão das LTs e seu entorno, a partir da análise de risco, aqui apresentada.

O trecho da LT ATE II de 500 kV Colinas-TO – Sobradinho-BA, que se estende por 353 km e interliga as SEs Ribeiro Gonçalves e São João do Piauí, possui um amplo histórico de desligamentos decorrentes de ocorrência de fogo. Esta LT é operada pela empresa TAESA e seu trecho crítico (353 km entre as SEs Ribeiro Gonçalves e São João do Piauí) atravessa as zonas rurais de dez municípios das mesorregiões Sudeste e Sudoeste piauiense, em uma área de transição entre os Biomas Cerrado e Caatinga, onde as queimadas e incêndios são recorrentes. Entre 2006 e 2015 foram registrados, em média, 1570 focos de fogo por ano nos municípios atravessados pela LT Ribeiro Gonçalves-São João do Piauí. Neste mesmo recorte temporal, o período de Julho a Outubro concentrou 91% do total dos registros de fogo ativo, sendo que apenas nos meses de Agosto e Setembro ocorreram 65% das detecções.

Frente à esta situação, as empresas TAESA, Geoambiente e Ekocap estão desenvolvendo um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D ANEEL Faixa de Servidão 0044), financiado pela ANEEL, a fim de estabelecer uma metodologia baseada em Sensoriamento Remoto e SIG para análise e mapeamento de criticidade das LTs a desligamentos provocados por eventos de fogo. Para tanto, adotou-se como área piloto o trecho da LT ATE II de 500 kV Colinas - TO – Sobradinho-BA que interliga as SEs Ribeiro Gonçalves e São João do Piauí.

Neste contexto, o presente trabalho possui o objetivo de apresentar uma proposta metodológica com a aplicação de geotecnologias para análise de risco à desligamentos de Linhas de Transmissão por incêndios. Esta modelagem será complementada e subsidiará a análise de criticidade e vulnerabilidade. Os produtos resultantes da aplicação da metodologia aqui proposta contribuirão para o planejamento e otimização das atividades de manutenção da vegetação nas faixas de servidão de LTs, minimizando as ocorrências de desligamentos e prejuízos ao sistema elétrico e a comunidade demandante de energia.

2. Fundamentação Teórica

Os mapeamentos de risco de incêndio podem ser realizados em diferentes escalas temporais e espaciais. Geralmente, índices de risco de curto prazo são calculados com alta frequência temporal (diariamente ou semanalmente, por exemplo) em nível regional, continental ou global (CHUVIECO et al., 1997). Este tipo de análise envolve a estimativa do comportamento de fatores dinâmicos que influenciam a ocorrência de incêndios, sendo estritamente dependente das condições meteorológicas, que afetam diretamente o conteúdo de umidade dos combustíveis vegetais (AMATULLI, 2006).

As avaliações de risco de longo prazo normalmente abrangem desde territórios nacionais até pequenas regiões com algumas dezenas a centenas de quilômetros quadrados. O risco de longo prazo refere-se aos fatores estáveis no tempo que afetam a ignição e a propagação do fogo, como a biomassa e outras propriedades estruturais dos combustíveis, infraestrutura (rede viária e linhas de transmissão, por exemplo), topografia (declividade, aspecto e altitude), atividades antrópicas (uso do solo), aspectos socioeconômicos (renda e escolaridade, bem como acesso pela população aos serviços e infraestrutura, entre outros) e padrões climáticos (médias históricas de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluvial e velocidade do vento, além da direção predominante dos ventos) (AMATULLI et al., 2006).

Estes fatores não sofrem variação significativa em curtos períodos (diariamente, semanalmente ou mensalmente), mas apenas ao longo de um ano ou alguns anos. Portanto, eles podem ser considerados estáveis, ao menos durante a temporada de incêndios, o que exige atualizações com frequência máxima anual. A escala temporal de longo prazo é muito útil para a compreensão dos padrões espaciais do risco de incêndio, oferecendo embasamento técnico aos planos e ações de gestão e prevenção (CHUVIECO e KASISCHKE et al., 2007), como manutenção de faixa de servidão/manejo da vegetação e locação de torres de observação, entre outros.

O processo de análise e mapeamento de risco de incêndio de longo prazo possui três principais etapas: (1) geração das variáveis espaciais relacionadas a ignição e propagação do fogo; (2) integração das variáveis por meio de modelagem para geração de índices sintéticos; e (3) validação do modelo de risco de incêndio produzido. A etapa de integração consiste na seleção dos fatores causadores e predisponentes significativos e no estabelecimento de um conjunto de equações, critérios e/ou pesos a partir dos quais estas variáveis são combinadas para representar o comportamento do sistema de incêndio florestal e obter índices que caracterizam e quantificam o risco.

A integração das variáveis para inferência geográfica da probabilidade de ignição pode ser realizada a partir de métodos baseados em conhecimento (inferência booleana, inferência fuzzy etc.) e de modelos empíricos orientados por dados (métodos bayesianos, técnicas de regressão, árvores de decisão, redes neurais, entre outros). Ainda há os métodos de análise multicritério para tomada de decisão, como o Processo Analítico Hierárquico (AHP, em inglês), que se baseia em conhecimento, mas permite avaliar quantitativamente a opinião dos especialistas, reduzindo a subjetividade do processo de ponderação das variáveis.

Na modelagem de ignição, a seleção das variáveis explicativas relevantes e a determinação de critérios e/ou pesos são tarefas críticas, as quais devem ser realizadas preferencialmente com o emprego de abordagens objetivas (modelos empíricos orientados por dados), evitando-se ponderações baseadas em percepções particulares locais, que podem diferir entre especialistas e dificultar a reprodução do método em outras áreas, períodos e escalas espaciais. Além disso, o ajuste dos modelos empíricos pode ser avaliado de forma objetiva e quantitativa.

A propagação do fogo e suas propriedades podem ser estimados a partir da aplicação de modelos físicos e empíricos de simulação do comportamento de incêndios. Os princípios físicos e químicos da combustão e da propagação compõem o embasamento dos modelos físicos, os quais normalmente consideram condições específicas do tempo e dos combustíveis para simular o comportamento do incêndio. Os modelos empíricos baseiam-se em análises estatísticas de dados obtidos em experimentos. Este tipo de modelo pode ou não se fundamentar em conceitos físicos para estabelecer relações entre as variáveis consideradas para prever a propagação do fogo. Os modelos físicos e empíricos de comportamento do fogo são integrados em sistemas de modelagem de incêndios, dentre os quais destacam-se aqueles que permitem a simulação do comportamento e da propagação do fogo no espaço e no tempo.

3. Proposta Metodológica

O diagrama da Figura 1 ilustra o modelo conceitual completo proposto para analisar e mapear o risco de incêndio em faixas de servidão de LTs. Observa-se, a partir desse diagrama, que a criticidade resulta da integração da vulnerabilidade das LTs e do risco de incêndios. A vulnerabilidade das LTs é dada pela combinação dos efeitos das suas características construtivas, das distâncias entre LTs contíguas, da topologia das redes e da manutenção das faixas de servidão sobre o potencial de desligamento frente às ocorrências de fogo. Já o risco de incêndios, por sua vez, é função dos agentes causadores naturais e antrópicos, que determinam o perigo de ignição, e dos elementos de clima, relevo e vegetação que influenciam o comportamento do fogo e definem o perigo de propagação. Sobre a análise e modelagem de risco, com foco em ignição, que o presente artigo apresenta alguns resultados.

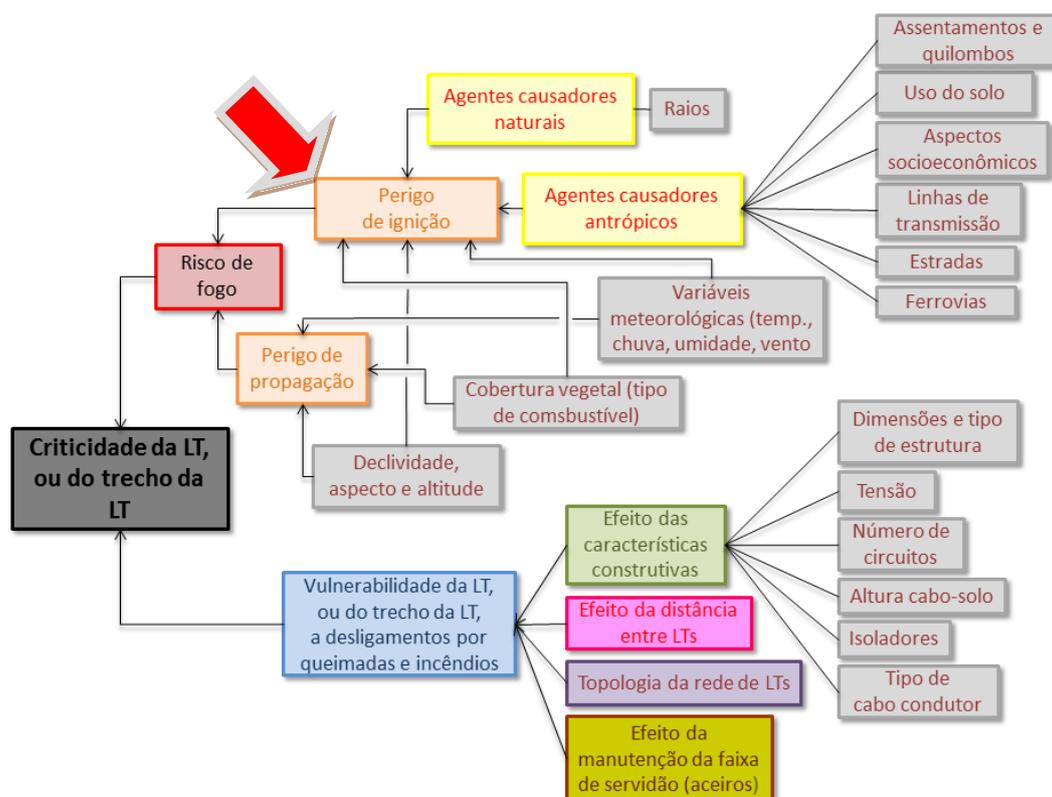


Figura 1: Modelo conceitual proposto para o mapeamento de criticidade de linhas de transmissão.

A abordagem metodológica proposta para o mapeamento dos graus de risco de ocorrência de queimadas e incêndios florestais em áreas de LTs baseia-se em uma adaptação de Chuvieco et al. (2009). Deste modo, será realizado o mapeamento de risco de incêndio de longo prazo a partir da integração das modelagens espaciais dos perigos/probabilidades de ignição e de propagação, empregando-se análises estatísticas, Sistemas de Informação Geográfica e dados de Sensoriamento Remoto.

A modelagem espacial de probabilidade de ignição será realizada por meio de análise de regressão logística. Para a modelagem de probabilidade de propagação serão utilizados os modelos físicos e semi-empíricos. A partir deste será gerado um dado espacial de intensidade do fogo, que, neste trabalho, representará o comportamento do fogo (CHUVIECO et al., 2009). Por fim, para obtenção do mapa de risco de queimadas e incêndios, os mapas de probabilidade de ignição e propagação serão integrados a partir de uma operação de união (soma) das duas probabilidades.

O risco de queimadas e incêndios florestais será avaliado e mapeado em duas escalas temporais e espaciais combinadas. Serão consideradas duas escalas espaciais e duas escalas

temporais, sendo que uma das escalas temporais se divide em três períodos de análise. Portanto, serão realizadas oito modelagens/mapeamentos de risco de incêndio. Por escalas temporais entendem-se os recortes temporais de análise do risco de fogo. Serão realizadas três modelagens quadrimestrais e uma modelagem anual do risco de fogo. Os mapeamentos quadrimestrais compreenderão os períodos entre fevereiro a maio, junho a setembro (período crítico) e outubro a janeiro. Em cada uma dessas modelagens serão utilizados dados meteorológicos (temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) correspondentes às médias, máximos e mínimos de séries históricas dos recortes temporais analisados (anual ou quadrimestral). As modelagens e mapeamentos para diferentes períodos permitirão o entendimento do comportamento temporal do risco de incêndios florestais na área de interesse do projeto.

As duas escalas espaciais distinguem-se pela área de abrangência e pelo nível de detalhe do mapeamento de risco de ocorrência de fogo, sendo denominadas escala de média resolução e escala de alta resolução. A escala de média resolução refere-se ao trecho da LT ATE II que possui 353 km e interliga as SEs Ribeiro Gonçalves e São João do Piauí, para o qual o mapeamento de risco de fogo será realizado com nível de detalhe compatível com resolução espacial das imagens OLI/Landsat 8 (30 m).

A escala de alta resolução corresponde a um subtrecho de 30 km da LT ATE II para o qual serão adquiridos dados de Sensoriamento Remoto de alta resolução (dados SAR aerotransportados, LiDAR e pares estereoscópicos Pléiades). O uso destes dados permitirá realizar a caracterização qualitativa e quantitativa do uso do solo, da cobertura vegetal e da topografia de forma mais precisa e detalhada, o que repercutirá nas modelagens de perigo de ignição e de propagação e, conseqüentemente, no mapeamento de risco de incêndios florestais. Deste modo, será possível verificar o ganho de informação (nível de detalhe e precisão) proporcionado pelo uso dos dados LiDAR, SAR e óptico de alta resolução no mapeamento de risco de incêndio, bem como avaliar a necessidade e a viabilidade de novas aquisições destes dados no futuro, quando a metodologia proposta for aplicada de forma sistemática.

Conforme mencionado anteriormente, segundo a abordagem proposta por Chuvieco et al. (2009), o risco de incêndios florestais resulta da integração dos resultados de modelos de perigo de ignição e de perigo de propagação. Entende-se por perigo de ignição a probabilidade de ocorrência (início) de um evento de fogo como uma função dos agentes causadores naturais e antrópicos e dos fatores ambientais relacionados ao comportamento do fogo.

A modelagem de perigo de ignição será realizada por meio da aplicação da análise de regressão logística, a fim de estimar a probabilidade de ocorrência (início) de incêndio em função de variáveis relacionadas aos agentes causadores naturais e antrópicos e aos fatores associados ao comportamento do fogo (clima, topografia e vegetação). Os produtos desta modelagem serão mapas em formato raster cujos pixels possuirão valores de probabilidade de ignição. O modelo de regressão logística não pressupõe normalidade dos dados e é adequado às variáveis categóricas, como uso do solo e ocorrência/não ocorrência de incêndios, por exemplo. A partir dos coeficientes das variáveis explicativas será possível avaliar o seu grau de influência (peso) sobre a probabilidade de ignição.

Para a escala de média resolução, na análise de regressão logística para mapeamento de perigo de ignição será utilizada como variável dependente um conjunto de dados correspondente à série de dez anos (2006 a 2015) de focos de fogo ativo (pontos) detectados por Sensoriamento Remoto (sensores MODIS e AVHRR) pelo INPE (2016).

A variável dependente da modelagem de perigo de ignição da área de aquisição de dados de SR de alta resolução (escala de alta resolução) serão as áreas queimadas (polígonos) mapeadas a partir de uma série temporal de imagens Landsat. Para execução da modelagem,

os dois dados que constituirão as variáveis dependentes serão convertidos para uma grade binária. Além disso, ressalta-se que na modelagem anual serão considerados os dados de incêndios (focos de fogo ativo e áreas queimadas) registrados ao longo do ano, enquanto que nas modelagens quadrimestrais serão utilizados apenas os registros referentes a cada período de análise.

O seguinte conjunto de variáveis explicativas será considerado:

- Variável relacionada aos agentes causadores naturais: densidade de raios;
- Variáveis relacionadas aos agentes causadores antrópicos: uso do solo (pastagem, agricultura, áreas urbanas, solo exposto, afloramento rochoso) tipos de vias de transporte (acessos, caminho carroçável e rodovias pavimentadas e não pavimentadas), distância às vias de transporte, ferrovias, distância às ferrovias, distâncias às linhas de transmissão, distância aos aglomerados de edificações (geração de buffer a partir das áreas urbanas do mapa de uso do solo), assentamentos rurais e quilombos, renda, escolaridade, número de domicílios em que há queima do lixo;
- Variáveis relacionadas ao comportamento do fogo: orientação das encostas, altitude, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, direção e velocidade do vento e mapa de cobertura vegetal (mata galeria, áreas úmidas, vegetação herbácea, vegetação arbórea e vegetação arbustiva).

O mapa de uso do solo e cobertura vegetal será composto pelas seguintes classes: pastagem, agricultura, áreas urbanas, solo exposto, afloramento rochoso, mata galeria, áreas úmidas, vegetação herbácea, vegetação arbórea e vegetação arbustiva. Para a área no entorno do trecho de 353 km da LT ATE II (escala de média resolução), este dado será gerado na escala 1:100.000 a partir da classificação e interpretação visual de imagens Landsat.

Para a área de aquisição de dados de dado de SR de alta resolução, o mapa de uso do solo e cobertura vegetal será produzido na escala 1:10.000 por meio da interpretação visual das ortofotos e imagens Pléiades adquiridas neste projeto. Ressalta-se que para esta área será realizada uma caracterização quantitativa da cobertura vegetal a partir dos dados Pléiades, SAR (ortoimagens, MDS e MDR) e LiDAR (nuvens de pontos, MDS e MDT). Esta caracterização quantitativa consistirá na estimativa e mapeamento de parâmetros da vegetação, como biomassa e altura, a partir da modelagem por análises de regressão linear calculadas com os dados de inventário florestal realizado em campo pela Ekocap (variável dependente) e com os dados Pléiades, SAR (ortoimagens, MDS e MDT) e LiDAR (nuvens de pontos, MDS e MDT) (variáveis independentes). Os dados espaciais resultantes destas estimativas (biomassa, altura, etc.) também serão utilizados como variáveis explicativas no modelo de regressão logística de perigo de ignição da área de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto de alta resolução espacial.

Para a área no entorno do trecho de 353 km da LT ATE II (escala de média resolução), as vias de transporte (acessos, caminho carroçável e rodovias pavimentados e não pavimentados) e as ferrovias serão mapeadas na escala 1:100.000. As vias de transporte da área de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto de alta resolução serão mapeadas com base nas imagens Pléiades e nas ortofotos. A variável de distância às estradas será obtida por meio da geração de *buffers* a partir das estradas mapeadas.

As variáveis explicativas referentes aos aspectos socioeconômicos serão renda, escolaridade e número de domicílios onde há queima do lixo. Estas variáveis serão geradas e mapeadas a partir dos dados agregados por setores censitários do censo demográfico do IBGE de 2010. Assentamentos rurais e comunidades quilombolas também farão parte do conjunto de variáveis explicativas e serão obtidos da base de dados espaciais do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e pesquisas *in loco*.

Quanto às variáveis que descrevem a topografia, para a área no entorno do trecho de 353 km da LT ATE II (escala de média resolução), mapas de declividade e de orientação das encostas serão geradas a partir do MDS SRTM (Modelo Digital de Superfície do projeto *Shuttle Radar Topography Mission*) produzido pela NASA com resolução espacial de 30 m. Para a área de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto de alta resolução (escala de alta resolução), os dados espaciais de declividade e orientação de encostas serão extraídos dos MDTs LiDAR e SAR.

Por fim, as variáveis meteorológicas de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e direção e velocidade do vento serão geradas a partir de séries históricas (2006 a 2015) de dados horários e mensais de treze estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizadas na região do trecho de 353 km da LT ATE II. A partir das séries históricas de dados mensais serão calculadas, para cada estação meteorológica, as médias anuais e quadrimestrais (fevereiro a maio, junho a setembro e outubro a janeiro) de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento. Para a variável direção do vento, será calculado a direção predominante. Com as séries históricas de dados horários também serão geradas as médias anuais e quadrimestrais das variáveis meteorológicas, porém considerando-se apenas os registros realizados no horário crítico (12:00 horas). Os valores médios calculados para as estações meteorológicas serão interpolados por *krigagem* para gerar mapas anuais e quadrimestrais de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e direção e velocidade do vento.

4. Conclusões

Para a modelagem do risco do fogo, é necessário ter entendimento do comportamento e incidência do fogo, bem como, dos fatores ambientais que contribuem para esse fenômeno como vento, umidade do ar, temperatura do ar, ou ainda conhecer a comunidade vegetal, tipos de combustível disponíveis, densidade de indivíduos, biomassa aérea vegetal, porcentagem de copa combustível, quantidade de gramíneas, entre outros parâmetros bióticos.

As variáveis florestais podem ser registradas e estimadas a partir de dados levantados em campo ou a partir de dados de Sensoriamento Remoto. Para a modelagem do comportamento do fogo, gerenciamento florestal e monitoramento do fogo o SR apresenta vantagens pois diminui os custos financeiros, de tempo e ambiental, além de poder aumentar a área física de análise, em comparação as restrições das análises realizadas a partir dos dados levantados em campo.

Existem alguns trabalhos para a área de Cerrado e Caatinga que tem verificado relações coerentes entre as estimativas de variáveis florestais como DAP, altura dos indivíduos, tipo de espécies ou grupo de espécies, biomassa aérea, entre outras, feitas a partir de dados de Sensoriamento Remoto óptico e radar em comparação com dados levantados em campo.

Neste contexto, para este trabalho será necessário verificar quais as variáveis florestais apresentam relação com os dados de Sensoriamento Remoto para se ter a estimativa do comportamento e incidência de fogo e análise de risco e criticidade ao fogo nas áreas da linha de transmissão.

Referências Bibliográficas

AMATULLI, G.; RODRIGUES, M. J.; TROMBETTI, M.; LOVREGLIO, R. Assessing long-term fire risk at local scale by means of decision tree technique. **Journal of Geophysical Research**, West Sussex, UK v. 111, n. G04S05, 2006.

ANEEL. (2016). Campanhas de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade - 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/avisos-e-comunicados/-/asset_publisher/xVhS2p1F8dhn/content/campanhas-de-fiscalizaca-2016/656808?inheritRedirect=false> Acesso em: 14/10/2016.

ANEEL. (2016). Entenda a Fiscalização dos Serviços de Transmissão. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/web/guest/fiscalizacao-da-transmissao>. Acesso em: 05/09/2016.

CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; YEBRA, M.; NIETO, H.; SALAS, J.; MARTÍN, M. P.; VILAR, L.; MARTÍNEZ, J.; MARTÍN, S.; IBARRA, P.; DE LA RIVA, J.; BAEZA, J.; RODRÍGUEZ, F.; MOLINA, J. R.; HERRERA, M. A.; ZAMORA, R. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. **Ecological Modeling**, v. 221, n. 1, p. 46-58, 2009.

CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; JURDAO, S.; PETTINARI, M. L.; YEBRA, M.; SALAS, J.; HANTSON, S.; DE LA RIVA, J.; IBARRA, P.; RODRIGUES, M.; ECHEVERRÍA, M.; AZQUETA, D.; ROMÁN, M. V.; BASTARRIKA, A.; MARTÍNEZ, S.; RECONDO, C.; ZAPICO, E.; MARTÍNEZ-VEGA, F. J. Integrating geospatial information into fire risk assessment. **International Journal of Wildland Fire**, v. 23, p. 606-619, 2014.

CHUVIECO, E. **A review of Remote Sensing methods for the study of large wildland fires**. Alcalá, Espanha: Universidade de Alcalá, 1997.

CHUVIECO, E.; KASISCHKE, E. S. Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. **Journal of Geophysical Research**, West Sussex, UK v. 112, n. G01S90, 2007.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2016. **Infográfico - Densidade de raios no Brasil**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/infografico.-densidade.de.raios.no.brasil.php>>. Acesso em: 11 jul 2016.

XAVIER, F. A., OLIVEIRA, T. S., ARAÚJO, F. S., & GOMES, V. d. (out-dez de 2007). Manejo da vegetação sob linhas de transmissão de energia elétrica na Serra de Baturité. *Ciência Florestal*, pp. 351-364.