



Grupo de Estudo de Desempenho Ambiental de Sistemas Elétricos-GMA

Inteligência Geográfica como abordagem metodológica para estudo de alternativas de corredores de transmissão de energia

FELIPE RAMOS NABUCO DE ARAUJO(1); RODRIGO AFFONSO DE ALBUQUERQUE NOBREGA(2); ANDRÉ LUIZ FONSECA NAIME(1); IBAMA(1);UFMG(2);

RESUMO

O presente trabalho demonstra como a modelagem geográfica multicriterial contribui no aprimoramento do processo de planejamento e implantação de linhas de transmissão. É proposta a integração de critérios contextuais geograficamente abrangentes de forma coordenada e lógica aos critérios técnicos tradicionais. São modelados corredores preferenciais para dois estudos de caso, que são sobrepostos às alternativas locais apresentadas e ao corredor preferencial do R3. Demonstra-se os benefícios da otimização computacional, multidisciplinaridade de critérios, natureza participativa e apoio qualificado aos processos de tomada de decisão. Como limitações citam-se a dificuldade no levantamento da base de dados e a subjetividade associada à modelagem

PALAVRAS-CHAVE

Planejamento, modelo participativo, geoprocessamento, otimização, Transmissão de energia

1.0 - INTRODUÇÃO

Os desafios associados à expansão sustentável da rede de transmissão nacional envolve diferentes aspectos e atores e complexidades sociais, econômicos e ambientais. O modelo decisório vigente no país para a implantação de novos sistemas de transmissão envolve estudos de planejamento, desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética e empresas do setor elétrico, seguido da concessão pública dos empreendimentos por meio da realização de leilões pela Agência Nacional de Energia Elétrica, finalizando no processo de licenciamento ambiental do empreendimento, sua construção e operação pelo período determinado no contrato de concessão. Este fluxo aliado ao indicativo de instalação de novos 55.000 km de linhas de transmissão de energia no país até 2027, instigam a busca por práticas inovadoras para o seu planejamento e avaliação de impactos ambientais (1).

O Licenciamento ambiental, de responsabilidade da empresa vencedora do processo licitatório, pode ser conduzido em órgãos estaduais de meio ambiente ou em âmbito federal, conforme a legislação ambiental aplicável (2). A complexidade territorial brasileira associada à relevância da definição de melhores alternativas espaciais na viabilidade econômica e ambiental de novos projetos de transmissão, maximizam o desafio de qualificação de estudos e da tomada de decisão. Desta forma, o propósito deste trabalho é apresentar e discutir como a modelagem espacialmente explícita utilizando métodos de análise multicritérios pode contribuir para o aprimoramento do processo de planejamento, licenciamento ambiental e implantação de novos empreendimentos de transmissão de energia.

A seção 2 deste Informe técnico apresenta a abordagem metodológica proposta, detalhando-se o modelo conceitual, lógico e matemático, bem como o seu embasamento teórico-científico associado aos métodos multicritério e ao geoprocessamento. A seção 3 apresenta resultados da modelagem de estudos de caso. Por fim, a seção 4 discorre acerca das aplicações dos métodos, já testadas ou potenciais, e seus aspectos positivos, limitações e propostas de discussões e pesquisas.

(*) SCEN Trecho 2, Edifício Sede do Ibama – Diretoria de Licenciamento Ambiental – CEP 70.819-900, Brasília, DF – Brasil

2.0 - METODOLOGIA

O modelo apresentado neste trabalho tem como referência a abordagem metodológica proposta por (3). Trata-se de uma técnica de modelagem corredores a partir da combinação algébrica e análise de múltiplos critérios espaciais previamente determinados. A literatura indica que “problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplos, conflitantes e incomensuráveis critérios de avaliação” (4). O processo de tomada de decisão multicritério de apresenta como ferramenta de apoio a tomadores de decisão na seleção de uma melhor alternativa, em situações onde um conjunto de alternativas pré-selecionadas, múltiplos critérios e diferentes prioridades devem ser considerados (5).

Os fatores (variáveis de interesse) são extraídos de camadas (como elevação, zoneamento urbano, cobertura do solo, entre outros conjuntos de dados) (3) que podem ainda ser denominados planos de informação (PI) (6). Os critérios são então escolhidos para cada fator e seus respectivos pesos são definidos de acordo com as prioridades estabelecidas, permitindo assim uma análise espacial de combinações entre fatores e pesos (3). Na classificação proposta por (7), voltada para as técnicas usualmente utilizadas na formulação de alternativas de Linhas de Transmissão, o modelo explicitado neste trabalho é classificado como uma técnica de modelagem computacional. Em resumo, implica na divisão da região de estudo em células, para uma posterior classificação e definição de pesos, considerando diferentes variáveis que indicam as condições naturais, culturais ou de atividades incidentes em cada célula, para subsidiar uma soma ou aplicação de ferramentas de geoprocessamento, que por sua vez resultam na geração de corredores, compostos pelo sequenciamento de células mais ou menos pontuadas, segundo os pesos atribuídos (7). A Figura 1 ilustra a estrutura conceitual de técnicas de modelagem computacional.

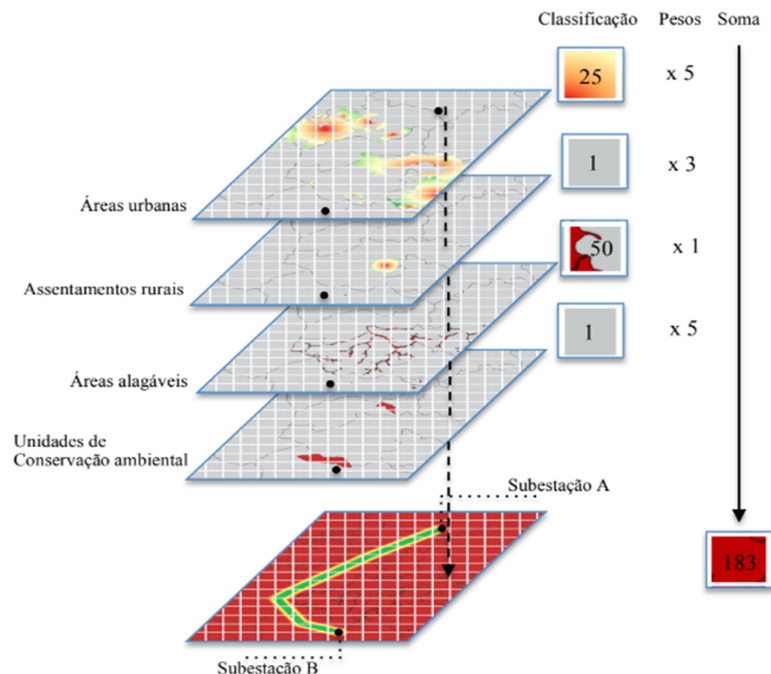


FIGURA 1 – Estrutura esquemática da técnica de modelagem

As abordagens multicritério têm sido utilizadas no campo do planejamento energético, motivadas pela complexificação do processo decisório, em especial pela necessidade de incorporação de aspectos sociais e ambientais, participação do público e atuação de diferentes atores na tomada de decisão (8). (9) e (10) apresentam revisões de métodos multicritério para aplicação em diferentes fases do fluxo decisório presente em um planejamento energético sustentável. Ambos trabalhos concluem acerca da ampla utilização de métodos multicriteriais na tomada de decisão relacionada a interação entre planejamento energético e políticas ambientais, sendo que (10) destacam que o AHP tem prevalecido, visto a sua maior compreensividade e simplicidade de aplicação. A técnica AHP foi desenvolvida como um método multicritério baseado na comparação pareada para a obtenção de pesos que são atribuídos aos critérios considerados no contexto de um processo de tomada de decisão (11). Consiste em realizar a análise por meio de uma sequência de comparações aos pares dos critérios que têm influência no processo decisório em pauta utilizando uma estrutura hierárquica para resolver problemas. Para a aplicação no cálculo de corredores ótimos, o AHP é utilizado para a formulação de superfícies de custo que basearão a construção de potenciais alinhamentos de menor custo (12), conforme ilustrado na Figura 2.

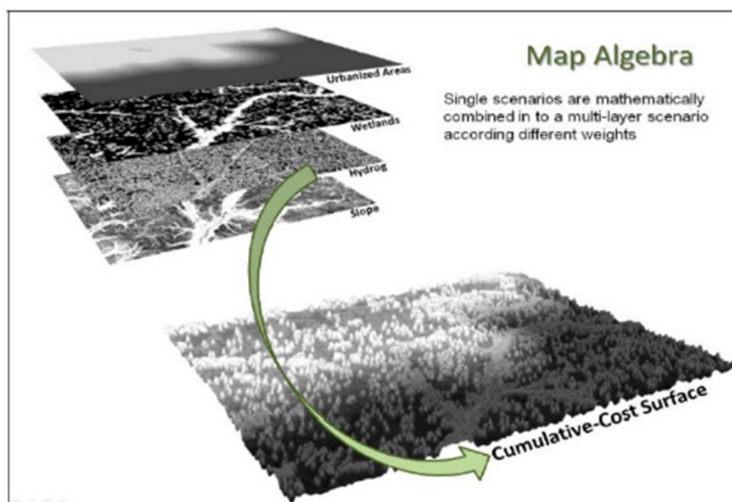


FIGURA 2 – Geração da superfície de custo acumulado a partir da combinação de cenários individuais (SADASIVUNI et al, 2009, p. 10).

O ranqueamento é executado na comparação aos pares em termos de importância de cada critério, seguindo a escala fundamental de comparação de critérios desenvolvidos por Saaty (13), apresentado na Tabela 1, onde quanto maior o peso, maior o custo de esforço inferido naquele critério no cálculo do corredor.

Tabela 1 – Escala de comparação de critérios par a par (adaptado de 13)

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica ao objetivo
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
Valores recíprocos	Se um critério i possui um dos valores anteriores, quando comparado com o critério j, então o critério j possui o valor recíproco quando comparado com o critério i	

Assim o Modelo conceitual do método apresentado neste Informe Técnico envolve 4 etapas principais, conforme ilustrado na Figura 3:

- o recorte da área de interesse, que envolve uma região no entorno entre 2 subestações que se pretende conectar através do projeto de transmissão em estudo;
- a definição das variáveis de interesse e respectivos critérios;
- e estruturação da base de dados, com a elaboração dos planos de informação e superfícies de custo, a partir da álgebra de mapas, que por sua vez é subsidiada pelo AHP;
- a Modelagem de alternativas de corredores propriamente dita.



FIGURA 3 – Modelo Conceitual

3.0 - RESULTADOS

Os resultados são apresentados na forma de gradiente espacial, que indicam piores ou melhores alternativas, a partir do conceito de custo de esforço para a implantação dos projetos. Não representam os corredores onde o projeto deve obrigatoriamente ser instalado, mas indicam corredores de menores “custos” socioambientais, a partir do cruzamento dos critérios pré-definidos. O “custo” representa o valor de impacto social ou ambiental de uma determinada célula (pixel) no espaço.

Para exemplificar o desenvolvimento de corredores foram elaborados corredores preferenciais para 2 estudos de caso. As modelagens envolveram diferentes variáveis e critérios, considerando-se as particularidades das regiões que estavam inseridas, como por exemplo: Priorização de proximidade com rodovias existentes; Não interceptação do entorno de cavidades naturais subterrâneas; Mínima a interferência em áreas com formações naturais; Não interceptação de Terras Indígenas e mínima interferência em seu entorno em um raio de 5 km; mínima interferência em Áreas Prioritárias de Conservação da Biodiversidade, entre outras.

a. LT 500 kV Marimbondo II - Campinas e Subestações associadas: Objeto do leilão ANEEL no 007/2013, a LT possui aproximadamente 365 Km de extensão, sua proposta se localiza entre os estados de Minas Gerais e São Paulo e tem como objetivo o fornecimento de reforços elétricos necessários na região sudeste, associados à entrada em operação da LT que interliga a UHE Belo Monte a Minas Gerais. A Figura 4 apresenta a localização do projeto proposto e a Figura 5 ilustra os resultados alcançados correspondentes ao corredor de viabilidade para implantação do empreendimento.

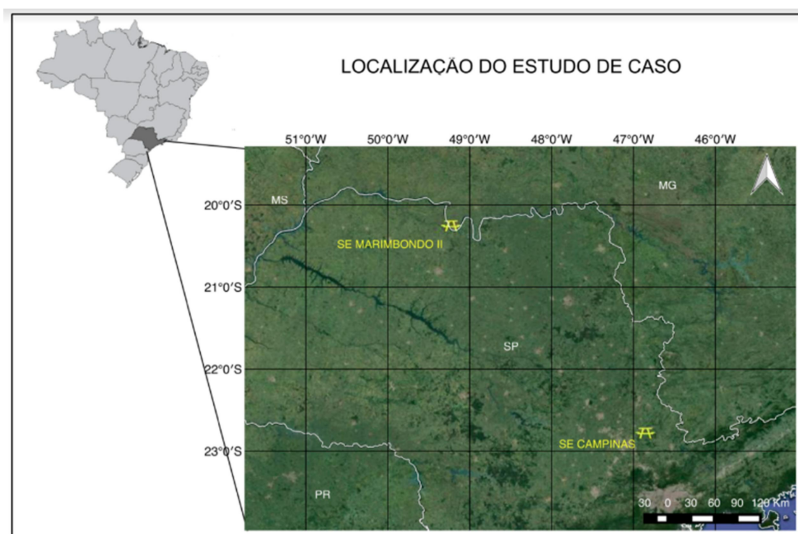


FIGURA 4 – Localização da LT 500 kV Marimbondo II - Campinas e Subestações associadas

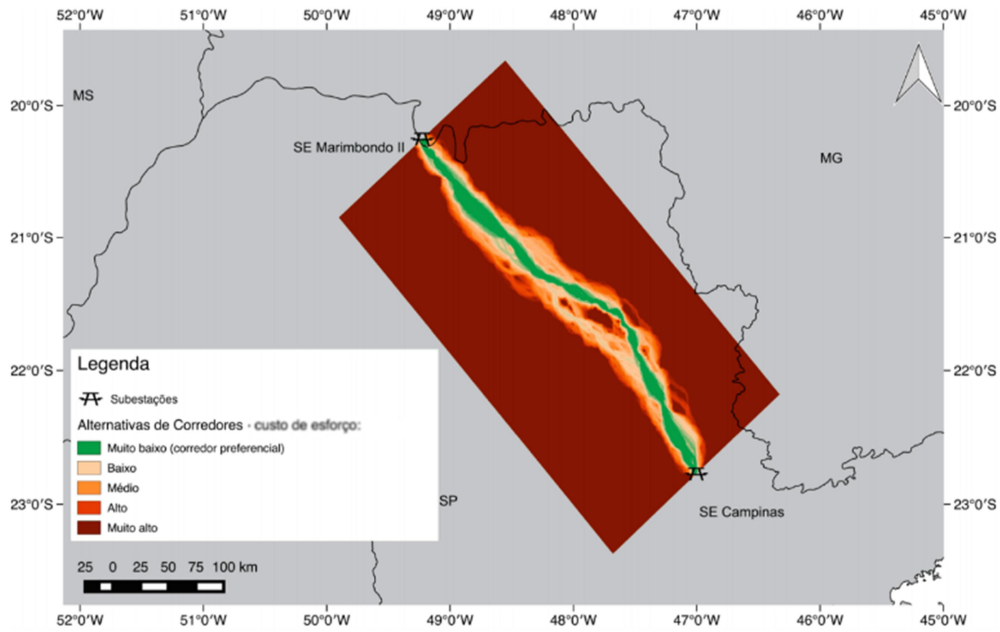


FIGURA 5 – Alternativas de Corredores para a LT 500 kV Marimbondo II - Campinas e Subestações associadas

b. LT 500kV Poções 3 - Padre Paraíso 2 - Governador Valadares 6: Objeto do leilão no 02/2018, compreende um empreendimento com 5 linhas de transmissão localizado entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. A Figura 6 apresenta a localização do projeto e a Figura 7 os resultados alcançados para um dos trechos do empreendimento.

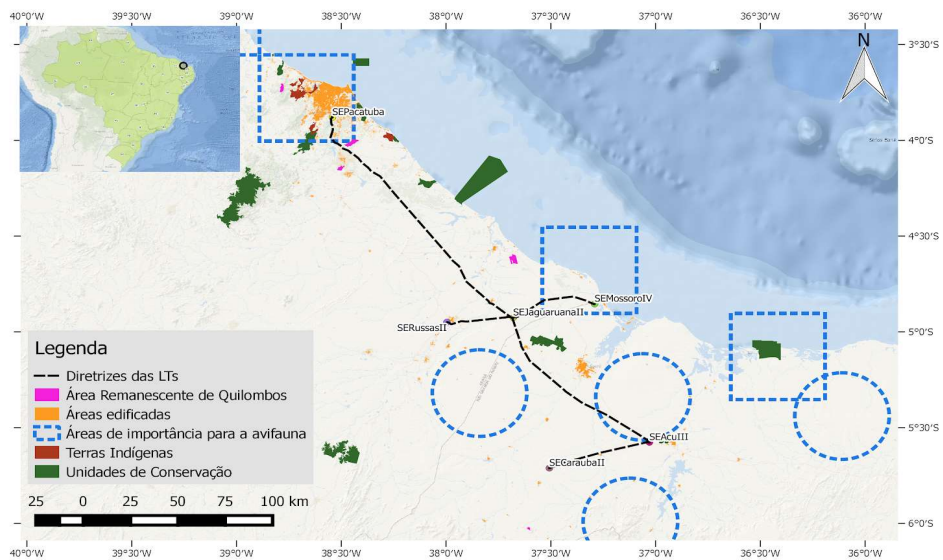


FIGURA 6 – Localização da LT 500kV Poções 3 - Padre Paraíso 2 - Governador Valadares 6

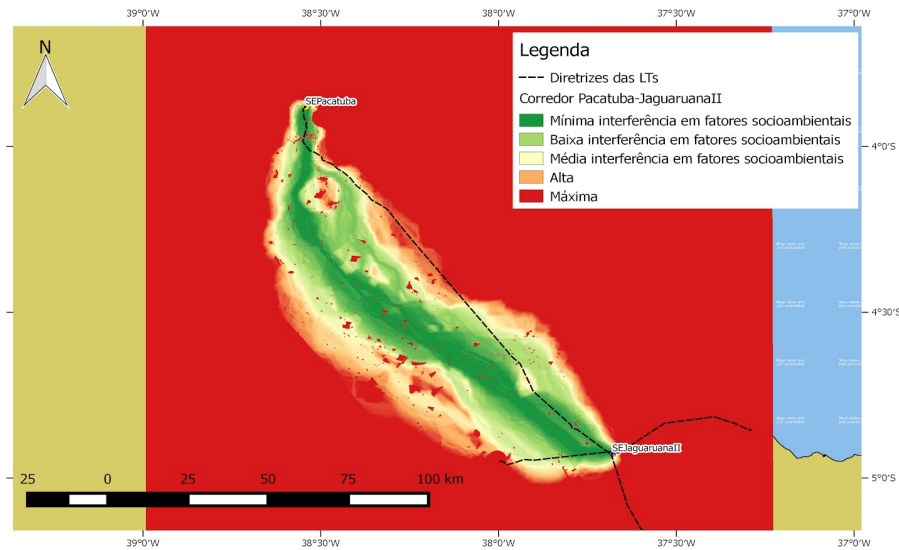


FIGURA 7 – Alternativas de Corredores para a LT 500kV Poções 3 - Padre Paraíso 2 - Governador Valadares 6, trecho SE Pacatuba - SE Jaguaruana II.

4.0 - CONCLUSÕES

Evidencia-se a aplicabilidade do método aos objetivos propostos. Destacam-se como pontos positivos a otimização computacional, a multidisciplinaridade de critérios que podem ser utilizados, a sua replicabilidade, transparência, a natureza participativa da solução e o seu apoio aos processos de tomada de decisão. Como limitações citam-se a dificuldade no levantamento da base de dados e a subjetividade associada à modelagem na classificação dos pesos que subsidiam o processo computacional.

O recurso foi objeto de pesquisa associada à integração de atores na etapa de planejamento de corredores (14) e como ferramenta de apoio à órgãos ambientais na análise em processos de licenciamento.

Como perspectiva futura, vislumbra-se a sua utilização como instrumento de participação da população afetada, como ferramenta de análise ambiental integrada de projetos de transmissão paralelos, instrumento de apoio de custo de instituições de faixas de servidão e incorporação de variáveis ainda não consideradas na avaliação de impactos ambientais de sistemas de transmissão, como por exemplo associados ao impacto visual.

Adicionalmente, entende-se que o modelo possui potencial aderência à sistemas de informação geográfica combinados à ferramentas de inteligência analítica e artificial, que apoiem ainda mais o estudo locacional de Sistemas de transmissão.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano decenal de expansão de energia 2027. MME/EPE, 2018. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 04. jan.2019.
- (2) BRASIL. Lei Complementar no 140, de 8 de dezembro de 2011. Diário oficial da república do Brasil. Brasília, DF, 09. Dez. 2011.
- (3) NOBREGA, R. A. A. et al. Bridging decision-making process and environmental needs in corridor planning. Management of Environmental Quality: An international Journal, v. 20, n. 6, p. 622-637, 2009. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/loi/meq>>
- (4) MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006.
- (5) JANKOWSKI, Piotr. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. International journal of geographical information systems, v. 9, n. 3, p. 251-273, 1995.

- (6) MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, n. 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2007. p 2899-2906.
- (7) WEEDY, B. M. Environmental aspects of route selection for overhead lines in the USA. *Electric Power Systems Research*, v. 16, n. 3, p. 217-226, 1989.
- (8) POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 8, n. 4, p. 365-381, 2004.
- (9) GREENING, L. A.; BERNOW, S. Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making. *Energy policy*, v. 32, n. 6, p. 721-735, 2004.
- (10) WANG, Jiang-Jiang et al. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p. 2263-2278, 2009.
- (11) MALCZEWSKI, J. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, 1999.
- (12) SADASIVUNI, R. et al. A Transportation corridor case study for multi-criteria decision analysis. In: ASPRS CONCERENCE, 2009. Proceedings online... Baltimore: ASPRS, 2009. Disponível em: <<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/baltimore09/0082.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- (13) SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. Springer Science & Business Media, 2001.
- (14) DE ARAUJO, Felipe Ramos Nabuco. Coordenação de dados, valores e participação de atores na tomada de decisão em estudos de alternativas locacionais de linhas de transmissão: uma proposta utilizando modelagem espacial e análise multicriterial. Dissertação (Mestrado em análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Nome: Felipe Ramos Nabuco de Araujo

Graduação: Engenharia Ambiental, PUC-Rio, Rio de Janeiro - 2007

Pós-graduação: Mestrado em Análise de Modelagem de Sistemas Ambientais, UFMG, Belo Horizonte - 2016

Experiência profissional: Analista Ambiental do IBAMA, onde atua na análise e condução de processos de licenciamento ambiental de projetos do setor elétrico. Engenheiro Ambiental, Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, tem experiência em Avaliação de Impactos Ambientais, Geoprocessamento, Modelagem Espacial e Gestão Ambiental. Foi premiado em 2019 em 1º lugar geral no prêmio MapBiomass, com o estudo de aplicação da Inteligência Geográfica na Avaliação de Impactos Ambientais de Sistemas de Transmissão de Energia. Possui publicações técnicas e científicas voltadas para a avaliação de impactos ambientais de projetos de transmissão de energia, geração termelétrica e energia eólica *offshore*.



Nome: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Graduação: Engenharia Cartográfica, UNESP, Presidente Prudente-SP, 1996.

Pós-graduação: Mestrado em Engenharia de Transportes, EPUSP, São Paulo - 2002. Doutorado em Engenharia de Transportes, EPUSP, São Paulo / Mississippi State University, Starkville MS - 2007.

Experiência profissional: Possui 23 anos de experiência em geoprocessamento nos setores privado e acadêmico. No Brasil atuou entre 1997 e 2008 na iniciativa privada como engenheiro de projetos, como coordenador operacional de linha de produção em mapeamento ostensivo e aerofotogrametria, e também como consultor e professor em geotecnologias. Nos Estados Unidos atuou entre 2008 e 2012 como Pesquisador Associado e como Professor Pesquisador, onde desenvolveu e compilou modelos de decisão por múltiplos critérios acoplado a sistemas de informação geográfica direcionados ao planejamento de transportes sob apoio do U.S Department of Transportation e U.S. Department of Homeland Security. É Professor Adjunto pelo Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde coordena o Programas de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais no IGC/UFMG e é membro do quadro permanente do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes da Escola de Engenharia da UFMG.



Nome: André Luiz Fonseca Naime

Graduação: Engenharia Industrial Elétrica, CEFET-MG - 2000

Pós-graduação: Mestrado em Engenharia Elétrica, UFMG, Belo Horizonte - 2002. Doutorado em Geografia e Gestão Ambiental, University of Waterloo, Canada - 2010.

Experiência profissional: Analista ambiental atuando no licenciamento ambiental do IBAMA e Professor Colaborador do Programas de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do IGC/UFMG. Possui mais de 15 anos de experiência em: 1) avaliação e manifestação técnica sobre os estudos de impacto ambiental (EIA) e estudos quantitativos e qualitativos de risco (EAR), participando do processo de licenciamento de mais de 300 grandes projetos de infraestrutura (como usinas de energia nuclear, gasodutos e polidutos, ferrovias, usinas hidrelétricas, centrais termoelétricas e linhas de transmissão de energia); 2) pesquisa na área de regulação ambiental e de empreendimentos de risco; 3) desenvolvimento de diretrizes de uso e ocupação de solo em áreas urbanas com presença de riscos tecnológicos; 4) elaboração e revisão de normas técnicas para avaliação e gestão de riscos tecnológicos; e 5) gestão de equipes e processos de licenciamento ambiental.