
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

**SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE
OCUPAÇÃO IRREGULAR EM FAIXA DE SERVIDÃO
DE LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

SILAS VALENTE

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco

Dissertação de Mestrado

Recife, 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

Silas Valente

**SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE OCUPAÇÃO
IRREGULAR EM FAIXA DE SERVIDÃO DE LINHA DE
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação defendida e aprovada no dia 31/07/2015.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco

Recife

2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

V154s Valente, Silas.
Sensoriamento remoto no estudo de ocupação irregular em faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica / Silas Valente. - Recife: O Autor, 2015.
87 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2015.
Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2. Linha de Transmissão de Energia Elétrica (LT). 3. Faixa de Servidão. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Ocupação Irregular. I. Pachêco, Admilson da Penha (Orientador). II. Título.

526.1 CDD (22. ed.) UFPE/BCTG/2015-250

**SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE OCUPAÇÃO
IRREGULAR EM FAIXA DE SERVIDÃO DE LINHA DE
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

POR

SILAS VALENTE

Dissertação defendida e aprovada em 31/07/2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. ADMILSON DA PENHA PACHÊCO

Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ

Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA

Departamento de Geociências – Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Talita Costa Valente, por todo apoio concedido durante este período de estudos intensivos.

Aos meus pais pelo incentivo, pela perseverança e honestidade.

Ao Prof. Dr. Admilson P. Pachêco agradeço pelo apoio, visão, compreensão, confiança e excelente orientação acadêmica e científica durante todas as etapas da dissertação.

Aos Professores deste Programa de Pós-graduação que, de forma direta ou indireta, contribuíram neste processo. Em especial aos docentes: Lucilene Antunes Correia Marques de Sá e Andrea de Seixas.

Ao Professor Eduardo Rodrigues Viana de Lima e Haroldo Antônio Marques pela colaboração nos processos de qualificação e andamento da pesquisa.

Ao Engenheiro Vinícius Queiroga Duarte pelo incentivo para realização deste mestrado.

A Administradora Ericka Silva Félix da Chesf pela atenção e competência na administração do Projeto P&D vinculado a esta pesquisa.

A minha amiga Valéria Carazzai e aos demais colegas do Departamento de Cartografia e Geoprocessamento da Chesf pelo incentivo.

A Chesf (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) pelo apoio geral concedido para realização desta pesquisa.

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE QUADROS	IV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	5
<i>1.1.1 Objetivo Geral</i>	5
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i>	5
2. LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: ASPECTOS E NORMATIVAS	6
2.1 ASPECTOS GERAIS	6
2.2 ASPECTOS LEGAIS PARA IMPLANTAÇÃO/MANUTENÇÃO DE LT	13
2.3 OCUPAÇÃO IRREGULAR OU INVASÃO DE FAIXA DE SERVIDÃO OU SEGURANÇA	18
3. SENSORIAMENTO REMOTO: ASPECTOS TÉCNICOS	22
3.1 SISTEMAS SENSORES ORBITAIS DE MÉDIA E ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL	22
3.2 SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)	27
3.3 SISTEMA LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO: LIDAR (<i>LIGHT DETECTION AND RANGING</i>)	30
3.4 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS	34
<i>3.4.1 Segmentação de Imagens.</i>	35
<i>3.4.2 Classificação Direcionada a Objetos</i>	40

4. ÁREA DE ESTUDO	44
4.1 LT 230KV IBICOARA/BRUMADO.....	44
4.2 CLIMA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	46
4.3 GEOLOGIA.....	46
4.4 GEOMORFOLOGIA	47
4.5 SOLOS	48
4.6 HIDROGRAFIA	49
4.7 VEGETAÇÃO	50
5. MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1 ASPECTOS GERAIS	53
5.2 MATERIAIS	54
5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO 1 - CÓDIGO DE ÁGUAS: LEIS E DECRETOS.....	75

RESUMO

VALENTE, Silas. **Sensoriamento Remoto no Estudo de Ocupação Irregular em Faixa de Servidão de Linha de Transmissão de Energia Elétrica**. Recife, 2015. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

As linhas de transmissão de energia elétrica (LT) são construções que se destinam ao transporte de energia elétrica das fontes geradoras aos centros de consumo. Uma LT possui como elementos básicos: cabos, isoladores e torres. O espaço no solo ocupado por esses elementos e entorno deve ser respeitado frente às diversas formas de ocupação. Esta área protegida é denominada Faixa de Servidão. A faixa de servidão, como território ocupado com potencial de geração de riscos à população, têm inúmeras restrições quanto à sua utilização, dada sua destinação: proteger o sistema elétrico e a sociedade. Sua largura varia em função da tensão dos cabos. Para tensões de 230 e 500 kV (kilovolts) a largura da faixa de servidão é respectivamente de 50 e 65 metros. A ocupação e conservação da faixa de servidão de forma adequada possibilitam maior segurança para as pessoas e bens localizados na vizinhança, bem como maior rapidez na localização de anomalias e na manutenção na LT. Ocupações das faixas de servidão, que não estejam contempladas no projeto de instalação da LT, são consideradas ocupação irregular ou invasão e devem ser identificadas e removidas. Atualmente existem dados de sensoriamento remoto de média e alta resolução espacial que podem auxiliar no estudo do uso e cobertura do solo. Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma metodologia, a partir de dados de sensoriamento remoto (CBERS-2B/HRC e SRTM), para identificar áreas invadidas e suscetíveis à ocupação irregular em faixa de servidão de LT. Para isso foram aplicadas técnicas de segmentação, classificação de imagem e desenvolvido modelos matemáticos usando parâmetros definidos nesta pesquisa. A área de estudo é a faixa da LT 230 kV Ibicoara/Brumado, localizada no estado da Bahia. A pesquisa caracterizou de forma abrangente e eficaz, a temática de LT e faixa de servidão, envolvendo aspectos técnicos, ambientais e de segurança, e contextualizou o sensoriamento remoto relacionando-o com o tema, envolvendo sistemas sensores e aplicações. Os resultados do estudo mostraram-se eficientes na observação/fiscalização do quadro de ocupação da faixa de servidão em locais específicos, sendo possível antecipar ocorrência de invasões, auxiliando na gestão de rede transmissão de energia elétrica.

Palavras-chave: Linha de Transmissão de Energia Elétrica (LT), Faixa de Servidão, Sensoriamento Remoto, Ocupação Irregular, Invasão.

ABSTRACT

The transmission lines (TL) are constructions intended for the transport of electricity from the generating sources to consumption centers. A TL has as basic elements: cables, insulators and towers. The land space occupied by these elements and surroundings must be respected across the various forms of occupation. This protected area is called right of way. The right of way as a potential risk area for population has numerous restrictions for its use, given their destination: protect the electrical system. Its width varies depending on the tension of the cables. For voltages of 230 and 500 kV (kilovolts) the width of the right of way is respectively 50 and 65 meters. The occupation and conservation of the right of way enables greater security for people and property located in the surroundings, as well as greater speed in detecting anomalies and for the maintenance of the TL. Occupations in the right of way, which are not included in the TL installation project, are considered illegal occupation or invasion and must be identified and removed. Currently there are remote sensing data of medium and high spatial resolution that can support the study of land use and land cover. In this context, this research aims to develop a methodology, based on remote sensing data (CBERS-2B / HRC and SRTM) to identify areas invaded and susceptible to irregular occupation in the right of way. Therefore, segmentation techniques, image classification and developed mathematical models using parameters defined for this search were applied. The study area is the right of way of the TL 230 kV Ibicoara / Brumado, located in the state of Bahia. This study used a comprehensive and effective way to characterize the issues related to TL and its right of way, considering technical, environmental and safety aspects, and contextualized remote sensing relating it to the subject, considering sensor systems and applications. The results of the study showed to be efficient in the observation / surveillance for the status of occupation of the right of way, in specific locations, making possible the anticipation of occurrence of invasions, giving more support for the management of power grid.

Keywords: Transmission Line (TL), Right of Way, Remote Sensing, Irregular Occupation, Invasion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustrativo sobre as diferentes tensões e suas respectivas Faixas de Servidão.....	9
Figura 2. Divisão da Faixa de Passagem em áreas "A", "B" e "C"	13
Figura 3. Localização da Área de Estudo. Fonte adaptada: RIMA (2009).....	45
Figura 4. Afloramento de gnaiss do Complexo Gavião	47
Figura 5. Unidades Geomorfológicas. Fonte: RIMA (2009).....	48
Figura 6. Mapa geral de solos. Fonte: RIMA (2009).....	49
Figura 7. Rio Paraguaçu próximo ao município de Ibicoara	50
Figura 8. Caatinga arbustiva densa com a presença de espécimes de porte arbóreo isolados nas proximidades da sede urbana de Brumado	51
Figura 9. Campo sujo em Ibicoara. Fonte: RIMA (2009).	52
Figura 10. Fluxograma da Metodologia.	54
Figura 11. Faixa de Servidão da LT Ibicoara / Brumado: recortes distintos.	55
Figura 12. Imagens Classificadas.....	57
Figura 13. Ponderação correspondente à declividade do terreno.	58
Figura 14. Ponderação correspondente à distância das torres.	59
Figura 15. Ponderação correspondente à proximidade de corpos d água.	60
Figura 16. Áreas de Faixa de Servidão suscetíveis à ocupação irregular.	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Faixas de Segurança de LT.....	12
Quadro 2. Sistemas Sensores Orbitais de Alta Resolução Espacial.....	23
Quadro 3. Sistemas Sensores Orbitais de Média Resolução Espacial.	24
Quadro 4. Características dos sensores CBERS-2B/HRC e SRTM/SAR	53
Quadro 5. Valores das áreas de faixa de servidão suscetíveis à ocupação irregular.	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AID	Área de Influência Direta
ALS	<i>Airborne Laser Scanner</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
ASOI	Áreas Suscetíveis à Ocupação Irregular
CAST	<i>Chinese Academy of Space Technology</i>
CAVIS	<i>Clouds, Aerosols, Vapors, Ice and Snow</i>
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CRI	Cartório de Registro de Imóveis
DM	<i>Data Mining</i>
EGM96	<i>Earth Gravitation Model 1996</i>
GIScience	<i>Geographic Information Science</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
HRC	<i>Panchromatic Camera of Hight Resolution</i>
IFON	<i>Instantaneous Field of Views</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
IRS	Imageador Multiespectral e Termal
kV	<i>Kilovolts</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LT	Linha de Transmissão de Energia Elétrica
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície

MDT	Modelo Digital do Terreno
MS	<i>Multispectral</i>
MUX	Camera Multiespectral Regular
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGA	<i>National Geospacial-Intelligence Agency</i>
OBIA	<i>Object-Based Image Analysis</i>
OLI	<i>Operacional Land Imager</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAN	<i>Panchrromatic</i>
PDI	Processamento Digital de Imagem
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
Quadtree	<i>Quadratic Picture Tree</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RT	Rede de Transmissão de Energia Elétrica
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
STA	<i>Star Tracker Assembly</i>
SWIR	<i>Short Wavelenght Infrared</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
WFI	Camera de Campo Largo
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a rede de transmissão de energia elétrica no Brasil ultrapassa 107 mil quilômetros de extensão (ANEEL, 2015). Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88kV (kilovolts) a 750kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é rebaixada e, por meio de um sistema composto por fios, postes e transformadores, chega à unidade final em 127 volts ou 220 volts. Exceção a essa regra são algumas unidades industriais que operam com tensões mais elevadas (de 2,3kV a 88kV) em suas linhas de produção e recebem energia elétrica diretamente da subestação da distribuidora pela chamada rede de subtransmissão (ANEEL, 2015). Nesse percurso, as empresas operadoras adquirem e são responsáveis pelas faixas de terras que margeiam essas linhas de transmissão de energia elétrica (ou simplesmente linhas de transmissão - LT), denominadas de faixas de servidão e de segurança (CPFL, 2007; ONS, 2000).

De acordo com a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, para Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica aplica-se a NBR-5422, que define a largura da faixa de servidão e segurança em função das características elétricas e mecânicas da LT. A função da faixa é garantir a operação, inspeção e manutenção da LT, bem como a segurança das instalações e de terceiros. Para torres de alta tensão de 138kV, determina-se que a Faixa de Servidão seja de 15 metros ao longo de todo o trecho para ambos os lados, a contar do centro da torre, totalizando um corredor de 30 metros. As tensões maiores, a exemplo de 230 e 500kV exigem, respectivamente, 50 e 65 metros de corredor restritivo, ampliando a área de proteção. Essa medida é estipulada no documento de cessão de passagem, devendo ser consultada sempre que houver uma suspeita de invasão ou solicitação de permissão para ocupação da faixa da LT (ABNT/ NBR-5422, 1985). Existem casos particulares em que há a necessidade de uma faixa adicional, devido à presença de obstáculos como plantações de elevado porte ou edificações. Nesses casos, a largura da faixa deve abranger tais obstáculos.

Devido a fatores tais como topografia, tipo de solos e condições de umidade, as faixas de servidão são comumente ocupadas indevidamente, sem prévia consulta ou autorização da empresa responsável, colocando vidas em risco. Obras,

benfeitorias ou instalações que sobrepuerem às faixas de servidão e de segurança da LT, poderão ser permitidas desde que respeitem os critérios de manutenção e operação dessa linha. Conforme o ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, (2000), nessa área não são permitidas benfeitorias ou atividades que propiciem a permanência ou aglomeração, constante ou eventual, de pessoas ou aquelas que coloquem em risco a operação da LT. Estas benfeitorias ou atividades são, dentre outras: instalações, construções residenciais, comerciais, industriais ou agropastoris de qualquer natureza, tais como residências, igrejas, estacionamento, olarias, bares e currais; ou ainda, áreas para a prática de esporte e lazer, tais como praças, campos de futebol e pesque-pagues (CUCCO e OLIVEIRA, 2013; CPFL, 2007).

Quaisquer ocupações nas faixas de servidão e de segurança que não estejam contempladas no projeto de instalação da LT são consideradas ocupações irregulares ou invasões. De acordo com CPFL (2007) e CELG (2010), na ocorrência desses casos, é comum que o setor responsável pelos serviços da LT levante dados referentes ao evento, tais como: data da inspeção que constatou a ocupação, uso irregular ou invasão; informações das estruturas adjacentes; localização da invasão em relação à faixa de servidão e de segurança; relatório fotográfico do local e dos contatos feitos com o responsável pela invasão; situação e característica principal da irregularidade ou invasão; e riscos e perigos potenciais.

Esse levantamento de dados, somado ao cadastro das benfeitorias do uso e ocupação do solo, e a posição dos cabos condutores para controle e atualização de sua situação real, são geralmente morosos e onerosos. O conhecimento da situação real de uma LT possibilita a utilização da mesma com segurança, explorando legalmente sua capacidade. Esse conhecimento pode ser obtido por meio de imagens aéreas orbitais da área, que podem ser geradas e manipuladas com técnicas de Sensoriamento Remoto.

As técnicas de Sensoriamento Remoto tiveram nas últimas décadas uma grande evolução a partir do surgimento de modernos sistemas sensores, aéreos e orbitais, capazes de produzir imagens multi e hiperespectrais de alta resolução espacial, temporal e radiométrica, aumentando a capacidade de discriminar, cada vez melhor, os alvos da superfície terrestre e ampliando significativamente as aplicações relacionadas com o estudo dos padrões de uso e ocupação do solo,

representando desta forma um importante suporte para o estudo das linhas de transmissão de energia elétrica e respectivas áreas de servidão

Os dados altimétricos da missão SRTM - Shuttle Radar Topography Mission e as imagens do satélite do CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres são alternativas para estudos de média resolução espacial em linhas de transmissão de energia elétrica. Principalmente considerando a disponibilidade gratuita destes dados.

Diante do exposto, esses dados foram definidos para utilização neste trabalho.

Com o SRTM foi possível gerar MDE - Modelo Digital de Elevação praticamente de todo o globo terrestre (80%), num nível de detalhamento inédito (JPL, 2012). Os MDE do SRTM estão disponíveis gratuitamente para toda América do Sul na resolução espacial de 3 arcos-segundos (90x90 metros) na banda C. As imagens geradas e disponíveis a partir da Banda X, resultam em modelos SRTM de 30 m de resolução. Os dados da Banda X tem cobertura global semelhante aos da Banda C, porém não de forma contínua. Os buracos na cobertura são consequentes da alta resolução espacial demandada (JPL, 2012).

Conforme o INPE (2015), os satélites CBERS-3 e 4 representam uma evolução em relação aos satélites CBERS-1, 2 e 2B. O CBERS-2B operou até o começo de 2010. Imagens do CBERS-3/4 encontram-se atualmente disponíveis de forma gratuita. Destacam-se as imagens geradas pela nova Câmera Pancromática, com resolução espacial de 5 e 10m, com faixas espectrais mais estreitas, o que gera melhor resolução radiométrica.

Paralelamente a evolução dos sistemas de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto, surgiram novas abordagens metodológicas em processamento digital de imagens e melhorias em metodologias já existentes, otimizando assim a extração de informações de imagens. Um grupo importante destes métodos está relacionado com a classificação de imagens, que consiste no reconhecimento de padrões espectrais e espaciais permitindo a geração de classes informacionais.

Com o surgimento dos novos sistemas sensores aéreos e orbitais, os classificadores tradicionais, tais como *pixel a pixel* (Máxima Verossimilhança - Maxver) e por regiões (Segmentação), vêm sendo alvo de diversos estudos comparativos (ARCOVERDE *et. al.* 2010), pois o elevado grau de detalhes em imagens de alta resolução apresenta uma grande confusão espectral causada pela repetição de alvos naturais e sintéticos, pela complexidade e heterogeneidade causadas por tamanho e formas diversas, e composições variadas. Estas características proporcionaram o surgimento de abordagens que levam em consideração outros atributos, além das características espectrais dos *pixels*.

Dentre essas alternativas de classificação de imagens de alta resolução espacial, a metodologia de análise de imagens baseada em objeto OBIA - *Object-Based Image Analysis*, vem ganhando importância nos últimos anos (HAY e CASTILLA, 2008). Ela surge como um significativo avanço nos processos de classificação automática de imagens, já que possibilita a modelagem do conhecimento humano referente a características específicas dos alvos, como brilho, textura, formato, contexto, tamanho, relações de vizinhança, entre outros, tendo como foco a classificação de segmentos de imagem (Segmentação) em vez de *pixels* isolados (HAY e CASTILLA, 2008).

Diante do apresentado, a hipótese desta pesquisa é a seguinte:

- É possível mapear áreas invadidas e suscetíveis à ocupação irregular em faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica usando dados de Sensoriamento Remoto (CBERS-2B/HRC e SRTM) e técnicas de classificação baseadas em objeto.

A presente pesquisa seguirá o seguinte roteiro:

- No segundo capítulo serão apresentados aspectos técnicos da temática linha de transmissão de energia elétrica visando fornecer subsídios teóricos para atender os objetivos da pesquisa;
- No terceiro, aspectos técnicos do Sensoriamento Remoto envolvendo sistemas sensores (orbitais e aéreos) e técnicas de Processamento Digital de

Imagens, visando apoiar o estudo do uso e ocupação de solo em faixa de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica;

- No capítulo quatro será apresentada uma descrição detalhada da área de estudo visando atender o desenvolvimento da pesquisa;
- No capítulo cinco, os materiais e métodos envolvidos na pesquisa serão exibidos. E por fim, no sexto capítulo serão discutidas as conclusões e considerações finais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia, a partir de dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de PDI - Processamento Digital de Imagem, para identificar áreas invadidas e suscetíveis à ocupação irregular em faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a temática de linha de transmissão de energia elétrica, enfocando a faixa de servidão, envolvendo aspectos técnicos, ambientais e de segurança.
- Contextualizar o Sensoriamento Remoto relacionado com a temática de faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica, envolvendo sistemas sensores e aplicações.
- Utilizar técnicas de classificação de imagem direcionada a objeto e definir as classes de uso e cobertura do solo, relevantes para pesquisa.
- Estabelecer um método de PDI, a partir da integração de dados CBERS-2B/HRC e SRTM, para identificar áreas invadidas e suscetíveis à ocupação irregular em faixa de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica.

2. LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: ASPECTOS E NORMATIVAS

2.1 Aspectos Gerais

Transmissão de energia elétrica é o processo de transportar energia entre dois pontos. O transporte de energia elétrica é realizado por linhas de transmissão de alta potência, geralmente usando corrente alternada, que de uma forma mais simples conecta uma usina ao consumidor. A transmissão de energia é dividida em duas faixas: a transmissão propriamente dita, para potências mais elevadas e ligando grandes centros e centrais de distribuição, e a distribuição, usada dentro de centros urbanos, por exemplo, para levar a energia de uma central de distribuição até os consumidores finais (DME, 2015).

Para a conversão de níveis de tensão entre centrais de distribuição, residências e os estabelecimentos comerciais, são usados transformadores, pois, a energia transportada por grandes redes e cabos é de altíssima tensão, e poderia queimar equipamentos em residências, por exemplo. Desta forma, a energia transportada tem que ser transformada para chegar às residências e outros tipos de usuários para que ela possa ser usada (DME, 2015).

Elementos básicos existem para que o transporte da energia aconteça, são eles: cabos, que conduzem propriamente a transmissão de energia; isoladores, que evitam contatos dos cabos que fazem a condução da energia com as torres e postes; e subestações que garantem a administração, manobra e controle de toda a energia transportada e gerenciada para consumo, possibilitando correções e consertos de maneira rápida e eficiente (DME, 2015).

Segundo ALMEIDA e FUCHS (1982), as linhas de transmissão de energia elétrica constam fundamentalmente de duas partes distintas. Uma parte ativa, representada pelos cabos condutores, que servem de guias aos campos elétrico e magnético - agentes do transporte de energia. E uma parte passiva, constituída pelos isoladores, ferragens, e estruturas, que asseguram o afastamento dos condutores do solo e entre si. As linhas aéreas de transmissão de energia elétrica são construções que se destinam ao transporte de energia elétrica das fontes geradoras aos centros de consumo.

O espaço ocupado pelas torres e seu entorno deve ser respeitado frente às diversas formas de ocupação. Esta determinação é estabelecida pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, que define para Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica a NBR 5422 – contendo os parâmetros para o cálculo da largura da área a ser mantida livre de ocupações (ABNT/NBR-5422, 1985).

A faixa de servidão, como território ocupado com potencial de geração de riscos à população, têm inúmeras restrições quanto à sua utilização dada sua destinação: proteger o sistema elétrico. A área considerada faixa de servidão, tem abrangência determinada pela tensão dos cabos. Para torres de alta tensão de 138 kV, determina-se que a Faixa de Servidão seja de 15 metros ao longo de todo o trecho para ambos os lados a contar do centro da torre, totalizando um corredor de 30 metros (ABNT/NBR-5422, 1985). As tensões maiores, a exemplo de 230 e 500 kV exigem, respectivamente, 50 e 65 metros de corredor restritivo, ampliando a área de proteção (ABNT/NBR-5422, 1985). A ocupação e conservação da faixa de servidão e de segurança, de forma adequada, possibilitam maior segurança para as pessoas e bens localizados na vizinhança, bem como maior rapidez na localização de anomalias e na manutenção na LT.

Conforme a CELG (2010), a Faixa de Segurança está relacionada à segurança de pessoas e instalações, em relação aos aspectos eletromagnéticos e de balanço dos cabos condutores. Esta faixa deve permitir também o livre acesso de equipamentos e equipes de trabalho para a manutenção das linhas ou serviços de reparo. A largura varia em função da tensão da linha, do balanço dos cabos (devido à ação dos ventos), dos efeitos eletromagnéticos e do posicionamento das fundações de suporte. As distâncias de segurança são definidas por normas da ABNT, visando garantir o bom desempenho da linha de transmissão e a segurança de terceiros. A área definida como faixa de segurança é estabelecida do ponto de vista jurídico, e de sua posse, como faixa de servidão ou faixa de domínio. As faixas definidas como de servidão ou domínio devem ter largura no mínimo igual à da faixa de segurança, existindo casos onde também incorporam áreas necessárias à implantação de futuras linhas (CELG, 2010). A Faixa de Servidão é a faixa de terreno destinada à segurança das LT, incluída mediante indenização ao proprietário

de um valor correspondente a um percentual do valor de pleno domínio, de acordo com a restrição imposta ao uso do imóvel. Neste caso, não há transferência de domínio e o proprietário poderá continuar a usar a faixa desde que observadas às normas de segurança. Faixa de Domínio é a faixa de terreno destinada à segurança das LT, instituída mediante desapropriação de pleno domínio. Neste caso, o imóvel passa a ser de propriedade da Companhia Hidro Elétrica. É aplicada apenas em áreas urbanas, onde o imóvel é destinado a lotes, pois o expropriado perde totalmente o seu uso em razão da instalação da linha (ABNT/NBR-5422, 1985; CELG, 2010; CPFL, 2007).

A Norma ABNT/NBR-5422 (1985) estabelece as diretrizes para calcular a largura da faixa de segurança de uma LT, mas estabelece limites apenas para o campo elétrico. O ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, através dos Procedimentos de Rede do ONS, Sub-módulo 2.4, define os limites máximos admissíveis para os efeitos eletromagnéticos (campo elétrico, campo magnético, ruído audível e rádio interferência) gerados pelas linhas de transmissão de energia elétrica com tensão igual ou maior que 230kV (ONS, 2000). Surgiu recentemente no Brasil, em março de 2010, a resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) de número 398, que regulamenta os limites dos campos eletromagnéticos, na frequência de 60Hz, recomendados pela Organização Mundial de Saúde, independentemente do seu nível de tensão (ONS, 2000). Essa regulamentação inicia a corrida pela conscientização das empresas projetistas de LT em se determinar a largura de faixa de segurança das linhas de transmissão (ONS, 2000).

A Figura 1 ilustra as distâncias a serem respeitadas conforme a tensão nos cabos.

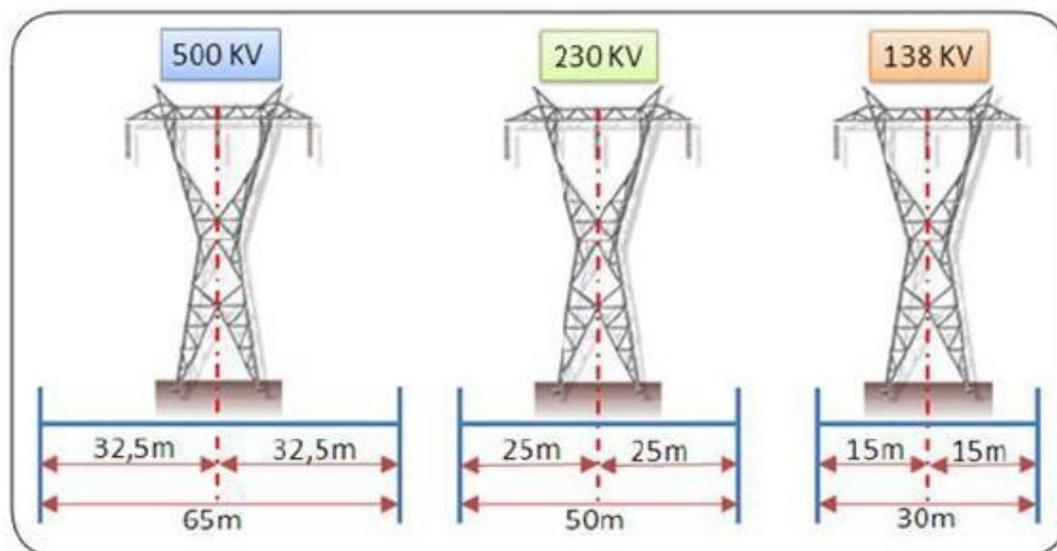


Figura 1. Ilustrativo sobre as diferentes tensões e suas respectivas Faixas de Servidão. Fonte: WOSNY (2010)

De acordo com a ABNT/NBR-5422 (1985), CELG (2010), CPFL (2007) e ELEKTRO (2013), são descritos os termos técnicos relacionados com LT:

Faixa de Domínio: Faixa de terra ao longo do eixo da LT aérea, declarada de utilidade pública, adquirida pelo expropriante por meio de acordos. Os acordos são feitos por instrumento público extrajudicial, decisão judicial ou prescrição aquisitiva, devidamente inscritos no Cartório de Registro de Imóveis (CRI).

Faixa de Servidão: Faixa de terra ao longo do eixo da LT aérea, cujo domínio permanece com o proprietário, com restrições ao uso. Essa faixa é declarada de utilidade pública e instituída por meio de instrumento público extrajudicial, decisão judicial ou prescrição aquisitiva; também inscritos no CRI.

Faixa de Passagem: Faixa instituída para fins de declaração de utilidade pública, podendo ser de domínio, servidão, ou posse. Deve ser numericamente igual à faixa de segurança considerando-se para o cálculo da flecha do condutor o vão representativo para o trecho da linha de transmissão.

Faixa de Segurança: Faixa de terra ao longo do eixo da LT aérea, necessária para garantir o bom desempenho da LT e a segurança das instalações e de terceiros.

Largura da Faixa de Segurança: Distância medida transversalmente ao eixo da LT aérea. Depende das características elétricas e mecânicas da LT. É necessária para garantir o bom desempenho e a inspeção/manutenção da LT, bem como a segurança das instalações e de terceiros.

Distância de Segurança: Afastamento mínimo recomendado do condutor e seus acessórios energizados a quaisquer partes, energizadas ou não, da própria LT e ao solo, ou a obstáculos próximos à LT.

Faixa Paralela: Faixa fictícia, paralela à faixa de passagem da linha de transmissão (faixa de servidão ou domínio) necessária para manter o regular fornecimento de energia elétrica, tendo em vista a poda ou o corte de qualquer árvore, cujo tombamento ou aproximação aos cabos condutores possam causar danos ou provocar desligamentos da linha de transmissão de energia elétrica (conforme Decreto No 35.851 de 16.07.54 Artigo 3º, Parágrafo 2º, e Cláusula 4ª "in fine" do Contrato de Servidão).

Contrapeso: Condutor enterrado no solo ao longo do eixo da LT, ou sob a projeção vertical dos condutores, com o objetivo de reduzir a resistência de aterramento da estrutura, torre ou poste, para valores compatíveis com o desempenho esperado frente a curtos-circuitos, surtos de manobra e descargas atmosféricas.

Sistema de aterramento: Conjunto de hastes, contrapeso, cabos condutores, conectores, cabos de cobre nu, dentre outros instalados junto às estruturas da linha de transmissão, os quais tem por objetivo garantir a segurança das pessoas e animais que por ventura estejam dentro da faixa de passagem da linha de transmissão, assim como também a performance adequada da linha de transmissão frente aos surtos de manobra, curtos-circuitos e descargas atmosféricas.

Posse: É considerada posse toda faixa de passagem ocupada por linha ou ramal de linha de transmissão de energia elétrica, sobre a qual a ELEKTRO não detém a servidão ou o domínio, ou seja, não há faixa instituída.

Ocupação: É a existência de obras, vegetações, casas, favelas, benfeitorias e instalações que venham a interferir com a faixa de passagem da Linha de

Transmissão, tais como: loteamentos, urbanizações, linhas de distribuição de energia elétrica, linhas de telecomunicações, oleodutos, gasodutos, ferrovias, arruamentos, açudes, barragens, aterros, sistemas de drenagens, sistemas de irrigação dentre outros, cujo início de instalação e permanência dependem de autorização formal por parte da ELEKTRO ELETRICIDADE e SERVIÇOS S.A.

Invasão: É todo ato de ocupação e ou de instalação de benfeitorias não autorizadas pela ELEKTRO dentro da faixa de passagem da Linha de Transmissão, as quais podem colocar em risco a sua operação.

Benfeitoria: É qualquer tipo de instalação e ou construção residencial, industrial, comercial, agropastoril, igreja, salões comunitários, templos, escolas, áreas de lazer, áreas de esporte, feiras livres, festas locais, quermesses, calçadas ou passeios, cabines telefônicas, pontos de ônibus e de taxi, guaritas, antenas de rádio e televisão, placas de publicidade, depósitos de materiais ou de lixo, estruturas de novas linhas de distribuição, transmissão, telecomunicações ou de TV a cabo.

Interessado: Toda pessoa física ou jurídica interessada em ocupar parte da faixa de passagem de uma linha de transmissão, ou de obter informações sobre a mesma.

Terceiros: Quaisquer pessoas, transeuntes, pedestres em geral, moradores das proximidades da linha de transmissão, ou qualquer indivíduo que não esteja ligado à construção, à manutenção e à operação da linha de transmissão, e que, portanto não tem a obrigação de conhecer as regras de convivência com uma linha de transmissão.

De forma geral as faixas de segurança das linhas apresentam as larguras descritas no Quadro1.

Quadro 1. Faixas de Segurança de LT.

Tensão (kV)	Largura (m)	Observação
69	12	6m para cada lado do eixo da LT
138	16	8m para cada lado do eixo da LT
230	35	17,5m para cada lado do eixo da LT

Fonte: CELG (2010).

Para fins de uso e de ocupação da faixa de passagem de linhas de transmissão deverão ser consideradas as seguintes áreas (Figura 2) definidas de acordo com seu grau de importância para operação, manutenção e segurança da linha:

Área A - Localiza-se no entorno das estruturas da linha de transmissão e destina-se a permitir o acesso das equipes de manutenção com seus respectivos veículos e equipamentos, bem como servir para a instalação de proteção contra abalroamentos às estruturas.

Área B - É a faixa de terreno, excluída a área A, que envolve os cabos condutores ao longo da linha e destina-se a proporcionar maior segurança à linha e também a terceiros.

Área C - É a porção da faixa de passagem, excluindo-se as zonas A e B, cujos limites externos são definidos no projeto da linha de transmissão e destina-se a garantir os limites de campos elétricos e magnéticos, no limite da faixa de passagem, e a evitar acidentes devido a balanço de cabos condutores e para-raios.

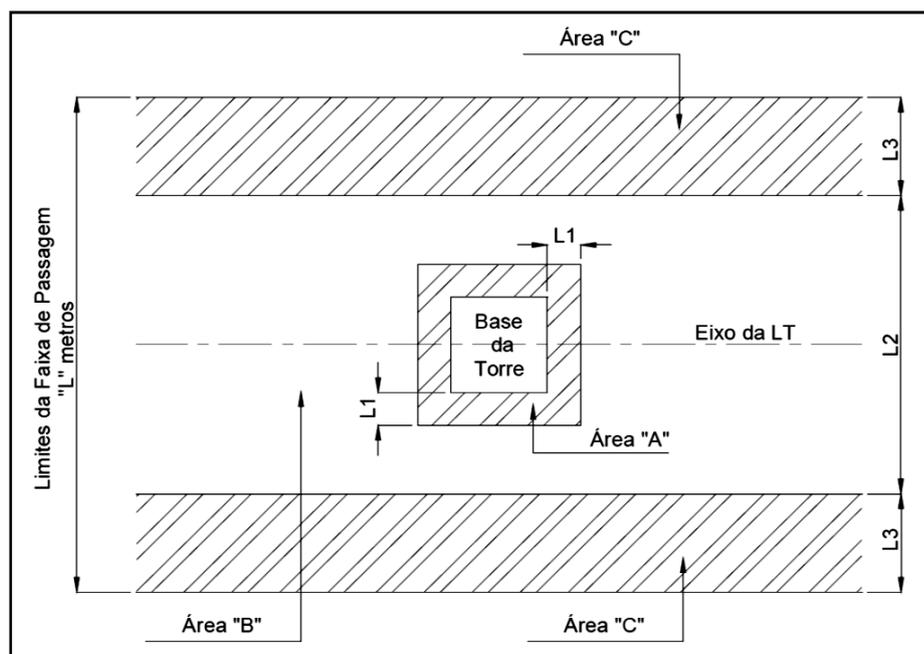


Figura 2. Divisão da Faixa de Passagem em áreas "A", "B" e "C". Fonte: CELG (2010)

2.2 Aspectos Legais para Implantação/Manutenção de LT

Conforme a ABNT/NBR-5422 (1985), a topografia é um parâmetro fundamental na elaboração projetos básicos e executivos de LT, dado que o custo do projeto depende essencialmente do perfil do terreno ao longo dessa linha. Em uma empresa de geração de energia, a perspectiva é de que os dados topográficos possam gerar produtos que forneçam subsídio para um estudo detalhado de traçados alternativos de LT, prevendo questões técnicas e ambientais, bem como a geração de mapas planialtimétricos e perfis que são produtos indispensáveis nos referidos projetos de criação de uma LT. Os dados topográficos que interessam ao tipo de projeto são analisados apenas na faixa de servidão/segurança.

O traçado é delimitado observando, de antemão, aspectos que não ofereçam riscos ao sistema. Nesta etapa também é dada preferência às áreas próximas a regiões com possibilidades de expansão visando atender instalações de redes futuras (BUBNIAK, 2010).

Conforme descrito por DAMASCENA (2011) riscos de ordem natural devem ser minimizados nas LT. Erosões e pedreiras devem ser evitadas próximas às torres, principalmente as pedreiras de exploração devido aos procedimentos utilizados para

extração de rocha, além de depósitos explosivos e indústrias que emanem fumaças ou gases corrosivos também devem ser evitados para que não prejudiquem a estrutura das torres. Além disso, devem ser tomadas precauções a fim de que a Linha de Transmissão se afaste o máximo possível das estações de abastecimento de água, ou de perfurações de petróleo, e ainda de redes de esgotos, oleodutos, redes de telefonia, no sentido de evitar incompatibilidade eletromagnética (DAMASCENA, 2011).

As árvores de grande porte não passíveis de corte ou que possam representar riscos à operação da linha de transmissão, as áreas de preservação ambiental e as determinadas como áreas de expansão de urbanização são fatores a serem considerados para desvio de traçado (BUBNIAK, 2010).

A maior preocupação para implantação de novos trechos de Linha de Transmissão trata das questões relativas aos efeitos dos campos eletromagnéticos sobre a saúde, ruído audível e interferências devido à proximidade com as áreas habitadas (FERNANDES, 2010).

Segundo CPFL (2007), a utilização da faixa de servidão e segurança de uma LT deve ser limitada ao que for compatível com sua operação, estabilidade de estruturas, manutenção e segurança, bem como a proteção ao meio ambiente e a segurança de terceiros. O bom estado de conservação da faixa de servidão e segurança é fator fundamental para o bom desempenho da LT.

As empresas de energia elétrica, por disposição legal no Código de Águas (Decreto Lei N.º 24.643, de 10/07/1934, artigo 151, alínea “c”), adotam para faixa de passagem o processo de servidão administrativa, regulamentado pelo Decreto N.º 35.851, de 16/07/1954 (ver anexo). Essas empresas costumam adotar o Contrato Particular de Constituição de Servidão e/ou a Escritura de Compra e Venda devidamente registrada em cartório (ABNT/NBR-5422, 1985).

Os parâmetros mínimos para fixação da faixa de segurança são definidos pela ABNT, na Norma Técnica NBR-5422 Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica (NBR-5422, 1985). Dependendo da natureza ou tipo de utilização do terreno, são calculadas a largura e as distâncias de segurança correspondentes.

A Norma Técnica NBR 5422 - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica, da ABNT, define os parâmetros mínimos para fixação dessa faixa de segurança, principalmente quanto ao cálculo da largura e das distâncias de segurança, em função da natureza ou tipo de utilização do terreno (ABNT/NBR-5422, 1985).

A ocupação e conservação da faixa de servidão e de segurança, de forma adequada, possibilitam maior segurança para as pessoas e bens localizados na vizinhança, bem como maior rapidez na localização de anomalias e na manutenção na LT (ABNT/NBR-5422, 1985).

Para o planejamento, implantação e operação de empreendimentos de transmissão de energia elétrica é recomendável observar prioritariamente leis, resoluções e decretos que envolvam o sistema de energia elétrica, para que sejam atendidas todas as solicitações previstas, mantendo assim, o sistema e a população em segurança (PIRES, 2005). Os regulamentos a serem obedecidos para Implantação de LT variam de país para país, pois se baseiam na cultura e nos sistemas político e administrativo de cada um. A exigência de elaboração de Estudos de Impactos Ambientais para instalação de LT, porém, é comum a todos os países, (FERNANDES, 2010).

As principais leis e decretos que regulamentam as atividades de criação, instalação e manutenção das LT de acordo com CFPL (2014) têm por base o Código de Águas: Decreto Lei N.º 24.643, de 10/07/1934. Alguns dos principais são:

a) DECRETO LEI N.º 7.062, DE 22 DE NOVEMBRO DE 1944. Dispõe sobre os bens e instalações utilizadas na produção, transmissão, transformação e distribuição de energia elétrica (Anexo 1).

b) O DECRETO N.º 35.851, DE 16 DE JULHO DE 1954, que regulamenta o Art. 151, alínea c, do Código de Águas, que trata de assuntos como a concessão de direitos para estabelecer as servidões permanentes ou temporárias exigidas para as obras hidráulicas e para o transporte e distribuição da energia elétrica (Anexo 1).

c) Outro Decreto importante é o que “dispõe sobre a ocupação de faixas de domínio de rodovias e de terrenos de domínio público e a travessia de hidrovias,

rodovias e ferrovias por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica, além de outras providências” (DECRETO N.º 84.398, DE 16 DE JANEIRO DE 1980) (Anexo 1).

O DECRETO N.º 86.859, DE 19 DE JANEIRO DE 1982, que altera o Decreto n.º 84.398, de 16 de janeiro de 1980, dispõe sobre a ocupação de faixas de domínio de vias de transporte e de terrenos de domínio público e a travessia de vias de transporte, por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica (Anexo).

A delegação de competência ao Ministro de Estado das Minas e Energia para declarar de utilidade pública, para fins de constituição de servidão administrativa, as áreas destinadas à passagem de linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica é dada pelo DECRETO N.º 90.378, DE 29 DE OUTUBRO DE 1984 (Anexo 1).

O regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, previsto no art. 175 da Constituição Federal, é regulamentado pela LEI N.º 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995. Essa Lei ainda dá outras providências como: regulamentar o serviço concedido e fiscalizar permanentemente a sua prestação; aplicar as penalidades regulamentares e contratuais; intervir na prestação do serviço, nos casos e condições previstos em lei; e extinguir a concessão, nos casos previstos nesta Lei e na forma prevista no contrato.

A LEI N.º 9.074, DE 7 DE JULHO DE 1995 estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências (Anexo 1).

Por fim, e não menos importante, a Lei que Institui a ANEEL, LEI N.º 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996, e que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica, além de dar outras providências (Anexo 1).

Os cuidados relacionados às distâncias de Faixa de Servidão ainda estão relacionados com a diminuição dos riscos impostos pela queda de cabos devido à possibilidade de energização do solo, efeitos biológicos dos campos

eletromagnéticos e por risco de desligamento e comprometimento do sistema elétrico (LAVANDOSCKI, 2010).

Em situação de real invasão da faixa de servidão, os procedimentos voltados para a remoção partem da indicação do ocorrido pela concessionária, através de comunicado extra-oficial, esclarecendo a irregularidade, de modo a explicar ao invasor os riscos aos quais está exposto (MARTINS, 2007).

Conforme a CELG (2010) e a CPFL (2007), todas as obras, benfeitorias ou instalações que sobrepuserem às faixas de servidão e de segurança da LT, poderão ser permitidas desde que respeitem os critérios de manutenção e operação dessa linha. Devem ainda ter prévia consulta e autorização da empresa responsável pela LT. Exemplos desses eventos são: loteamentos, urbanizações, linhas de distribuição ou transmissão, oleodutos, gasodutos, ferrovias, rodovias, hidrovias, reflorestamentos, barragens, aterros sanitários e exploração de jazidas.

Algumas benfeitorias ou atividades permanentes ou de aglomerações constantes de pessoas não podem ser realizadas sob a LT, dentro de toda a sua faixa de servidão e segurança. Além disso, quaisquer atividades que coloquem em risco a operação da LT também são proibidas (CPFL, 2007; CELG, 2010).

Alguns exemplos dessas benfeitorias ou atividades são: instalações e construções de qualquer natureza sejam elas residenciais, industriais, comerciais de qualquer natureza, agropastoris, religiosas, educativas, festivas e esportivas/lazer. Além das instalações citadas, são proibidas sob LT: feiras livres, cabines telefônicas, pontos de ônibus ou táxi, estacionamentos em geral; movimentos de terra, que possam colocar em risco a estabilidade das estruturas da LT, placas de publicidade, depósitos de materiais inflamáveis ou combustíveis, realização de queimadas de qualquer natureza, irrigação artificial com jato d'água dirigido para cima, pedreiras, quaisquer outras atividades que reduzam a distância entre os cabos da LT e o solo. Outras estruturas de linhas de transmissão, redes de distribuição, TV a cabo, e telecomunicações também são vetadas (CPFL, 2007; CELG, 2010).

Conforme a CELG (2010) e a CPFL (2007), o projeto de edificação de obras nas proximidades de uma LT deve ser aprovado pela empresa responsável pela LT, seguindo critérios pré-definidos em Lei/Norma. O loteamento, por exemplo, deve

conter em sua Planta topográfica a situação da LT e suas estruturas identificadas, bem como a identificação das faixas de servidão e segurança. Podem ser exigido ainda, em projetos de loteamentos, o perfil das ruas transversais à LT, indicando as distâncias mínimas do leito da rua ao cabo condutor inferior da LT, a vista lateral, elevação e planta de cortes ou aterros transversais ou longitudinais à LT. Após a conclusão do loteamento, o empreendimento é inspecionado, aprovado ou notificado com base no projeto pré-aprovado (CPFL, 2007; CELG, 2010).

A Implantação de Loteamentos requer a seguinte documentação:

- a) Coordenadas UTM (SIRGAS 2000 IBGE/BRASIL) das estruturas dentro da área do loteamento;
- b) Representação no desenho de planta básica do eixo da linha de transmissão; e de suas respectivas estruturas (torres de transmissão);
- c) Projeto de terraplanagem das áreas próximas as estruturas das linhas de transmissão.

2.3 Ocupação Irregular ou Invasão de Faixa de Servidão ou Segurança

Quaisquer ocupações das faixas de servidão e de segurança que não estejam contempladas no projeto de instalação da LT são consideradas de ocupação ou uso irregular ou invasão.

Diante do contexto apresentado é importante destacar a descrição de Ocupação Irregular, Invasão e Risco iminente conforme a CTEEP (2014): Ocupação Irregular é todo ato não autorizado pela Companhia de Transmissão de Energia Elétrica de ocupação parcial ou total, da faixa de servidão da linha de transmissão ou de posse, que contrarie as normas técnicas relativas a linha de transmissão, ou que coloque em risco terceiros ou o fornecimento de energia elétrica; Invasão é todo ato não autorizado pela Companhia de Transmissão de Energia Elétrica de ocupação parcial ou total da faixa de domínio da linha de transmissão, ou de terrenos de propriedade da Empresa; e risco iminente entende-se quando a distância de segurança entre o cabo condutor e a benfeitoria/vegetação em análise, na condição de maior aproximação, for igual ou inferior aos valores prescritos pela

NBR-5422; ou quando a benfeitoria estiver sobre os fios contrapesos (fios de aterramento das estruturas).

Conforme a ABNT/ NBR-5422 (1985), a aproximação dos cabos condutores à benfeitoria ou vegetação que estiver ocupando indevidamente a faixa de passagem, ultrapassando o limite mínimo de segurança, pode acontecer devido:

a) ao balanço dos cabos condutores submetidos a ventos transversais;

b) a dilatação dos cabos condutores devido ao aquecimento, quer pela circulação de uma corrente elétrica maior, quer devido ao aumento da temperatura ambiente, ou pela combinação de ambas as situações, trazendo como consequência o aumento da flecha;

c) uma sobretensão por manobra ou por descarga atmosférica (tensões de passo, toque ou transferidos).

Conforme ABNT/NBR-5422 (1985), não é admitido na faixa de passagem da linha de transmissão nenhuma benfeitoria, vegetação e ou atividades, que coloquem em risco a operação da linha, ou que propiciem a permanência ou aglomeração constante ou eventual de pessoas, tais como:

a) Atividades com permanência constante de pessoas;

b) Atividades que permitam a aglomeração de pessoas (por exemplo: igrejas, festas, escolas, quadras de esportes, dentre outras);

c) Atividades que envolvam riscos de explosão, tais como: postos ou locais de abastecimento de veículos, armazenamento de materiais inflamáveis;

d) Instalações e construções residenciais de qualquer natureza, tais como: edículas, barracos, portarias, muros, garagens, favelas, hotéis, edifícios e residências;

e) Instalações e construções industriais de qualquer natureza, tais como: indústrias em geral, olarias, fornos, chaminés, estações de bombeamento, depósitos, galpões, barracões, escritórios, estacionamentos, guaritas; postos de gasolina;

f) Feiras livres, feiras de exposição, quermesses, festas juninas, calçadas e ou passeios para pedestres ao longo da linha;

g) Cabines telefônicas, pontos de ônibus ou de taxi, rodoviárias, guaritas e ou portarias;

h) Estacionamento de carros, caminhões, motos, bicicletas, barcos, carroças;

i) Placas de publicidade, *outdoors*, antenas de rádio, televisão, celular, estações de telecomunicações;

j) Linhas aéreas ou subterrâneas de distribuição de energia elétrica; linhas telefônicas, linhas de TV a cabo;

k) Depósito de materiais inflamáveis, de combustíveis, materiais metálicos, sucata, entulho, lixo, depósito de madeira, de areia, depósitos em geral;

l) Movimentos de terra, escavações de terra, buracos, entre outros, os quais podem colocar em risco a estabilidade das estruturas, a integração dos cabos condutores, cabos para-raios, ou que possam diminuir a distância entre os condutores e o solo;

m) Realização de atividades de queimadas de qualquer natureza;

n) Irrigação por aspersão ou com jato d'água dirigido para cima;

o) Desvios de córregos, rios, entre outros, que venham a comprometer a estabilidade das estruturas e do sistema de aterramento;

p) Pedreiras, exploração de jazidas, mineração, atividades agrícolas que venham a modificar o perfil do solo;

q) Plantações de qualquer tipo de cultura com altura acima de 2 metros;

r) Atividades que possam causar riscos de desligamentos da linha, tais como escavações, queimadas, fogos de artifício, entre outros.

Conforme ABNT/NBR-5422, (1985), as Permissões de Uso, são as seguintes:

a) Cultura de cereais, horticultura, floricultura, fruticultura e pastagens, desde que constituída de espécies cuja altura máxima na idade adulta garanta que a distância do condutor mais baixo à vegetação nunca seja inferior a 5 metros.

b) Açudes, lagoas e canais de água transversais ou longitudinais ao eixo da linha, desde que sejam preservados: i) os acessos às estruturas; ii) a distância mínima de 10 metros de suas margens (cota máxima) até o eixo da estrutura; iii) o sistema de aterramento; iv) a estabilidade da estrutura. Nos casos de águas navegáveis deverão ser aplicadas as prescrições definidas pelos órgãos competentes.

c) Cercas e alambrados sob as LT são permitidos desde que: i) observadas as distâncias mínimas de segurança, exigidas na NBR 5422, entre seu topo e o condutor mais baixo da linha; ii) não prejudiquem a operação, inspeção, manutenção e a segurança da linha e de terceiros;

d) Cercas e alambrados transversais ao eixo da LT sejam seccionadas e aterradas as cercas e alambrados paralelos ao eixo da linha estejam fora da faixa de segurança e sejam também seccionadas e aterradas.

e) Cruzamentos com linhas de transmissão, distribuição ou linhas de telecomunicações, bem como, travessias sobre hidrovias, ferrovias, rodovias serão permitidos desde que atendam aos critérios da NBR 5422 e dos órgãos e entidades competentes.

f) Travessia de dutos ou rede de dutos para quaisquer finalidades (oleodutos, gasodutos, alcooldutos), aéreos ou subterrâneos, deverá ser analisada, que poderá exigir do interessado a apresentação de estudos de interferências eletromagnéticas entre a linha e o duto ou rede de dutos.

g) Reurbanização de áreas e implantação de novos loteamentos, em locais onde existir uma ou mais linhas com tensão igual ou superior a 69kV, deverão ser elaboradas pelo interessado estudos específicos de interferência do empreendimento com a linha.

3. SENSORIAMENTO REMOTO: ASPECTOS TÉCNICOS

3.1 Sistemas Sensores Orbitais de Média e Alta Resolução Espacial

A partir do desenvolvimento, nas últimas décadas, de satélites com sensores de alta e média resolução espacial, foi possível desenvolver novas ações nas pesquisas em Sensoriamento Remoto. A redução dos recursos naturais devido à ação antrópica e problemas ambientais têm estimulado a aquisição periódica de informações geoespaciais com o objetivo de compreender padrões de uso, ocupação e organização do homem no espaço.

As imagens de satélite têm sido utilizadas para fins de mapeamento, planejamento e monitoramento ambiental. Atualmente, novas tecnologias aliadas a *softwares* cada vez mais modernos têm possibilitado o uso de imagens de satélite para caracterizar, com mais acuidade, o uso e ocupação do solo.

Conforme FLORENZANO (2002), a resolução espacial refere-se à habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. Esta habilidade baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definindo a área do campo de visada do instrumento numa certa altitude e num determinado instante. O ângulo definido por esta projeção é denominado de Campo de Visada Instantânea IFOV - Instantaneous Field Of View. O IFOV define a área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor (FLORENZANO, 2002). Conforme MELO (2002), a resolução espacial dos sistemas sensores pode ser classificada de acordo com o seguinte intervalo: baixa resolução espacial (≤ 30 metros), média resolução espacial (≤ 10 metros) e alta resolução espacial (≤ 1 metros).

Segundo BAMLER e EINEDER (2008), a resolução espacial, um dos componentes principais na definição de um projeto envolvendo Sensoriamento Remoto, ao longo dos anos foi sendo melhorada juntamente com as plataformas, conduzindo, a partir do final da década de 90, a uma nova geração de sensores de resolução submétrica, com a produção de imagens óticas de altíssima resolução espacial (KURTZ et. al., 2012).

Estudos voltados para o uso e ocupação do solo em geral podem ser apoiados com a utilização das imagens de alta resolução espacial, tendo em vista a

melhor capacidade para analisar elementos distintos em materiais de propriedades diferentes. Vários exemplos podem ser citados seguindo esta linha, como KONG (2006), PACIFICI et. al., (2009), ZHOU et al. (2009) entre muitos outros que utilizam produtos de alta resolução espacial. De uma maneira geral é consensual que o maior obstáculo na utilização das imagens de Sensoriamento Remoto para estudos intra-urbano sempre esteve relacionado à resolução espacial, o que ao longo do tempo vem sendo minimizado pelas melhorias tecnológicas. Tais desafios vêm sendo superados por soluções concretas, vinculadas com os diferentes avanços das técnicas de processamento digital de imagens.

Ao longo dos últimos 15 anos, vários sensores de alta resolução espacial foram lançados. Os Quadros 2 e 3 descrevem, respectivamente, aspectos técnicos dos principais sensores de alta e média resolução espacial lançados nos últimos 15 anos.

Quadro 2. Sistemas Sensores Orbitais de Alta Resolução Espacial.

Sistema	Resolução Espacial	Resolução Espectral	Revisita (dias)	Lançamento	Situação
IKONOS II	1m (PAN) e 4m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	3	1999	ATIVO
QUICKBIRD II	0,61m (PAN) e 2,44m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	3,5	2001	ATIVO
WORLDVIEW – 1	0,5m (PAN)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	1,7	2007	ATIVO
GEOEYE – 1	0,41m (PAN) e 1,65m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	3	2008	ATIVO
WORLDVIEW – 2	0,46m (PAN) e 1,84m (MS)	PAN (1) e MS (8 Bandas)	1,1	2009	ATIVO
PLEIADES (1A e 1B)	0,5m (PAN) e 2,0m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	1,1	2012	ATIVO
WORLDVIEW – 3	0,31m (PAN), 1,24 m (MS), 3,70 (SWIR) e 30m (CAVIS)	PAN (1) e MS (8 Bandas), SWIR (8 Bandas) e CAVIS (12 Bandas)	1	2015	ATIVO

Quadro 3. Sistemas Sensores Orbitais de Média Resolução Espacial.

Sistema	Resolução Espacial	Resolução Espectral	Revisita (dias)	Lançamento	Situação
SPOT 5	5m (PAN) e 10m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	26 dias	2005	ATIVO
RAPIDEYE	5 metros (MS)	MS (5 bandas)	1 dia	2008	ATIVO
SPOT 6	1,5m (PAN) e 6m (MS)	PAN (1) e MS (4 Bandas)	1 dia	2012	ATIVO
LANDSAT 8	15m (PAN) e 30m (MS)	PAN (1) e MS (10 Bandas)	16	2013	ATIVO
CBERS-2B	2,7 m (PAN), 80 m (MS) e 160 (Termal)	PAN (1) e MS (3)	26 dias	2007	NÃO ATIVO
CBERS-3 e 4	5m e 10m (PAN+MS), 20m, 40m, 64m, 80m e 120m (Termal)	PAN (2) e MS (8)	3 / 26 dias	2013 / 2014	ATIVO

Diante do contexto apresentado, é importante destacar os sistemas sensores orbitais: WORLDVIEW – 3, RapidEye, LANDSAT - 8 e CBERS-3/4.

Conforme a DIGITALGLOBE (2015), o WorldView-3 incorpora melhorias para o sensor óptico e sub-sistemas que irão ampliar ainda mais os pedidos de imagens de satélite em ambos os mercados, comercial e governamental. WorldView-3 apresenta imagens com 0,31 metro de resolução envolvendo uma banda pancromática única, um modo multiespectral de 8 bandas com resolução de 1,24 metros, um modo multiespectral SWIR (desempenho em condições adversas) de 8 bandas com resolução de 3,70 metros para identificação de neblina, nevoeiro, poluição, poeira e fumaça e um modo multiespectral CAVIS (Clouds, Aerosols, Vapors, Ice and Snow – Condições Atmosféricas) de 12 bandas com resolução de 30 metros para estudos de nuvens, gelo/neve, névoa e vapor d'água (DIGITALGLOBE, 2013). Os sensores fornecem cobertura completa do espectro visível, juntamente com duas bandas do infravermelho próximo. Novas bandas

disponíveis com recursos inéditos foram projetadas para melhorar a segmentação e classificação do uso e ocupação do solo e atender estudos atmosféricos (DIGITALGLOBE, 2013).

Segundo a RapidEye - BLACKBRIDGE (2015), o RapidEye possui uma constelação de 5 satélites capazes de adquirir imagens coloridas com resolução espacial de 5 m. Devido ao número de satélites e a alta revisita para a tomada das imagens, a quantidade de imagens existentes em acervo e a capacidade de aquisição de imagens mediante programação dos satélites, tornam o RapidEye a melhor alternativa para aplicações com demandas de imagens de média resolução. Os satélites RapidEye têm uma banda adicional denominada RedEdge, especificamente desenvolvida para discriminação da vegetação, situada numa faixa do espectro eletromagnético que tem alta correlação com a fluorescência da clorofila, e pode inclusive ser utilizada para discriminar com mais detalhe e precisão, tipos diferentes de vegetação e de uso e cobertura do solo, a partir de 4096 níveis de cinza, obtidos através dos 12 bits de resolução radiométrica. Com até 4,5 milhões de km² coletados por dia, e com revisita diária, é possível realizar várias coletas de uma mesma área, reduzindo significativamente a probabilidade de não dispor de imagens para uma determinada área e que lhe permite recobrir qualquer Estado do Brasil em apenas 6 dias (BLACKBRIDGE, 2015).

Conforme a USGS (2015), a plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional Terra Imager (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9). A banda 8 do instrumento OLI é a pancromática, e possui resolução espacial de 15 metros (banda 8). A Nova banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros e de aerossol. A Nova banda 9 (cirrus) é útil para a detecção de nuvens. As faixas térmicas de 10 e 11 pertencem ao instrumento imageador TIRS, e são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas, e os dados são coletados *pixel* de 100 metros. O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170km Norte-Sul e 183km a Leste-Oeste (USGS, 2015). http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php.

Com a continuidade do programa Landsat será possível cruzar dados de mais de 40 anos, possibilitando análises temporais de grande valia, principalmente em

estudos ambientais. Nesta linha deve-se ressaltar a continuidade, por mais de vinte anos, dos programas NOAA / AVHRR e SPOT.

Conforme o INPE (2015), os governos do Brasil e da China assinaram em Julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial), para o desenvolvimento de um programa de construção de satélites avançados de Sensoriamento Remoto (CBERS, 2015). Esse programa foi denominado de Programa CBERS ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Tal programa contempla o desenvolvimento dos seguintes satélites: CBERS-1, CBERS-2, CBERS-3, CBERS-4 e CBERS-2B (INPE, 2013). Devido ao sucesso do CBERS-1 e 2, os dois governos decidiram, em novembro de 2002, dar continuidade ao programa CBERS firmando um novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de mais dois satélites a partir de 2015, os CBERS 3 e 4 (CBERS, 2015). O CBERS 3 foi lançado em 9 de dezembro de 2013, mas devido a uma falha ocorrida com o veículo lançador Longa Marcha 4B, o satélite não foi colocado na órbita prevista, resultando em sua reentrada na atmosfera da Terra. Após a falha do lançamento, Brasil e China decidiram antecipar para dezembro de 2014 o lançamento do CBERS-3 e 4 - originalmente previsto para ser lançado em dezembro de 2015 - para dezembro de 2014. Assim, em 07 de dezembro de 2014 o CBERS-4 foi lançado com sucesso da base de Taiyuan, localizada a 700km de Pequim (INPE, 2015).

Os satélites CBERS-3 e 4 representam uma evolução em relação aos satélites CBERS-1, 2 e 2b. Para os CBERS-3 e 4 são utilizadas no módulo carga útil quatro câmeras (Câmera Pancromática e Multiespectral - PAN, Câmera Multiespectral Regular - MUX, Imageador Multiespectral e Termal - IRS, e Câmera de Campo Largo - WFI) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados (INPE, 2015).

A Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN) apresenta resolução espacial de 5m/10m, a Câmera Multiespectral Regular (MUX) apresenta resolução de 20m, a Câmera WFI apresenta resolução espacial de 64m e a Câmera IRS apresenta resolução espacial 40m/80m (INPE, 2015).

A Câmera PAN trará dois importantes aportes ao CBERS-4. Primeiro, uma resolução pancromática de 5m, dando continuidade aos imageamentos de alta resolução iniciados com a câmera HRC - *Panchromatic Camera of High Resolution* do CBERS-2B. Assim, poderá haver uma ampliação dos estudos que necessitem de imageamentos de detalhes (INPE, 2015). Em segundo lugar, a possibilidade de ter imageamento multiespectral com resolução de 10 metros abre nova perspectiva para as aplicações no País. Somando a isso, os processamentos digitais de imagens que promovem a fusão dessas imagens, haverá certamente um ganho significativo ao se juntar a alta resolução da banda pancromática com a multiespectralidade em 10 metros das outras bandas. A expectativa é de que o ganho com esses procedimentos mais do que compensarão a baixa resolução temporal desta câmera (INPE, 2015).

3.2 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

A determinação da altitude é um problema clássico que remota aos princípios da Geodésia. Os modelos topográficos digitais ou MDE de grandes áreas eram obtidos, em sua maioria, a partir da digitalização de cartas topográficas, em diferentes escalas, apresentando resolução máxima de 1km, o que tornava o procedimento moroso. Para contornar esse problema, em 11 de fevereiro de 2000 a missão SRTM, liderada pela NASA - *National Aeronautics and Space Administration* e a NGA - *National Geospatial-Intelligence Agency*, foi iniciada com o intuito de realizar o levantamento altimétrico da superfície terrestre continental entre os paralelos 60° Norte e 58° Sul. Durante 11 dias, o ônibus espacial Endeavour dessa missão orbitou a Terra a uma altitude de 233 quilômetros MDS (PARADELLA et al., 2005; MENESES e ALMEIDA, 2012).

O radar SAR - *Synthetic Aperture Radar* a bordo do ônibus espacial Endeavour adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre, nas bandas C (90m) e X (30m), fazendo uso da técnica de interferometria. Nesta técnica a altitude é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens de radar sobre um mesmo local na Terra (CCRS, 2015). O SAR obteve imagens da Terra usando, em paralelo, dois sinais de microondas nas bandas C e banda X, com comprimentos de onda de 5,6 cm e 3,0 cm, respectivamente. O SAR é um sensor ativo que opera na faixa das microondas do espectro eletromagnético, não necessitando, portanto,

da luz solar, além de não sofrer interferência das condições atmosféricas (PARADELLA et al., 2005; MENESES e ALMEIDA, 2012).

Adicionalmente, foi usada a configuração X-SAR/SRTM, na qual duas antenas auxiliares, montadas na extremidade de um mastro extensível, com 60 metros de comprimento, que permitiu a leitura interferométrica. As antenas acopladas à nave transmitem e recebem os pulsos. As antenas da extremidade do mastro somente recebem os sinais do retroespalhamento (provocado pela superfície da Terra) dos pulsos emitidos pela primeira antena. Com esta configuração foi possível determinar a altura da superfície terrestre, gerando um modelo da topografia do terreno de alta resolução (30m), o chamado MDS - Modelo Digital de Superfície (PARADELLA et al., 2005; MENESES e ALMEIDA, 2012).

O SRTM possibilita a determinação dessa geometria com qualidade. O sistema possui duas antenas GPS, um sistema inercial e um sistema de rastreamento de diodos emissores de luz que monitora os movimentos da antena externa em relação a acoplada. Adicionalmente, possui uma versão do sistema *Star Tracker Assembly* (STA), que utiliza câmeras digitais para observar estrelas distantes e compará-las, onboard, com um catálogo estelar. Para medir a distância entre as duas antenas, durante o voo, é utilizado um distanciômetro de alta performance da Leica-Wild DI2002 (PARADELLA et al., 2005; MENESES e ALMEIDA, 2012).

Devido à gratuidade, os dados SRTM (90 metros de resolução) foram extensivamente aplicados em estudos em variadas áreas do conhecimento, buscando contemplar a necessidade em cada caso. Serão apresentadas a seguir, para exemplificar, algumas dessas aplicações.

Existe na literatura uma confusão a respeito dos termos aplicados aos modelos digitais gerados com dados altimétricos. A diferença entre eles é simples e de fácil entendimento. Conforme MAUNE (2001), os Modelos Digitais de Superfície (MDS) incluem além da superfície do terreno, todos os objetos (árvores, construções, entre outros) que estão sobre sua superfície; os Modelos Digitais de Elevação (MDE) representam apenas os objetos existentes sobre a superfície da Terra; e os Modelos Digitais do Terreno (MDT) contemplam apenas a superfície da Terra, sem os objetos que estão em sua superfície.

Atualmente, os MDS podem ser obtidos por meio de dados de diferentes fontes, sendo uma delas o sensor SRTM, que se destaca por ser de uso público, e por apresentar qualidade e confiabilidade compatível com os MDS oriundos de restituição aerofotogramétrica. Entretanto, objetos como a cobertura vegetal, tipo e inclinação do relevo, edifícios e construções influenciam diretamente na qualidade de um MDS, podendo até inviabilizá-lo por afetar as medidas de correlação de imagens (GONÇALVES, et al., 2005).

A simplicidade no manuseio, disponibilidade e qualidade geral dos produtos SRTM são fatores que incentivam definitivamente seu uso na geração de MDS. Em países de dimensões continentais, como o Brasil, e que ainda não completaram seu mapeamento nas principais escalas, os dados SRTM são essenciais. Estudos mostraram que os erros médios obtidos das diferenças de altitudes entre o MDS de dados SRTM e as altitudes obtidas por GPS de maneira convencional são relativamente baixos, variando de 4,0 a 5,4 metros, com desvios padrão variando de 10,1 a 10,5 metros. Desse modo, o MDS do SRTM enquadra-se na acurácia indicada pelo PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica na escala 1:100.000, classe A. Porém, não alcança a tolerância especificada para escalas maiores ou iguais a 1:50.000, nem mesmo na classe C (GONÇALVES, et al., 2005).

Além do volume de mapeamento insatisfatório, no Brasil existe outro problema comum em algumas regiões, que é a cobertura quase que permanente de nuvens, chuvas constantes, presença de fumaça e dificuldade de acesso. Esse problema acarreta em deficiência de mapeamento topográfico planialtimétrico e de informações de recursos naturais (PARADELLA ET. al, 2012). Os dados SRTM tornaram-se um método alternativo para geração de MDS, especialmente nessas regiões. Esses modelos, mesmo disponibilizados com baixa resolução, apresentam-se consistentes o bastante para diversas aplicações, dentre elas a ortorretificação de imagens multiespectrais que permitam elaboração de trabalhos na escala 1:50.000, como as imagens SPOT 4 (PARADELLA ET. al, 2012).

3.3 Sistema LASER Scanner Aerotransportado: LIDAR (*Light Detection and Ranging*)

Paralelamente ao desenvolvimento de sensores que possibilitam uma melhor observação da Terra, sob forma de imagens em diferentes faixas do espectro eletromagnético, surgiram sensores para captação de dados altimétricos. Esses sensores podem ser classificados em três grandes categorias, de acordo com a forma de coleta de informação e processo de cálculo da altitude. A primeira categoria é a Radargrametria, ou seja, é o processo de medida da altimetria por estereoscopia, que leva em consideração a paralaxe existente em um par de imagens de amplitude obtidas com paralaxe transversal (PARADELLA et al., 2005). A segunda categoria é o radar por Interferometria, que determina a altimetria por diferenças da fase do sinal retroespalhado, em tomadas sob geometrias distintas (PARADELLA et al., 2005). Finalmente, a terceira categoria é o LASER Scanner ou LIDAR (*Light Detection Ranging*), que é classificado como terrestre ou aerotransportado de acordo com a plataforma usada (WUTKE, 2006). Assim, se a plataforma de transporte é uma aeronave, o laser é denominado aerotransportado e, se o equipamento está em terra firme ou em um veículo, o laser é terrestre (SILVA, 2008).

O início da utilização da tecnologia laser, para a medição de distâncias, vem desde a década de 60. Na década de 70, várias agências, incluindo a NASA, começaram a desenvolver sensores LIDAR, objetivando a medição de propriedades oceanográficas e topográficas. Posteriormente, no início dos anos 90, essa tecnologia passa a ser comercializada já com maior precisão e consistência na aquisição de dados em plataformas aéreas, devido especialmente à evolução do GPS, do sistema de medição inercial (IMU) de menor porte e, do surgimento de computadores portáteis (ACKERMANN, 1999).

O LASER Scanner é um sistema composto por dois grupos de sensores. O primeiro é encarregado de medir a distância entre o sensor e a superfície do objeto levantado. O segundo grupo inclui uma série de dispositivos encarregados de registrar a posição e atitude do sensor na hora da coleta dos dados (GIONGO et al. 2010).

O princípio de operação do sistema de varredura a laser baseia-se na determinação da distância entre o sensor e a superfície através de um pulso que se propaga à velocidade da luz. A distância é determinada medindo o tempo decorrido entre a emissão do pulso e o registro da parcela refletida pela superfície (WUTKE e CENTENO, 2007). O sistema laser aerotransportado gera coordenadas tridimensionais de pontos na superfície terrestre. Baseadas na medição do tempo de emissão e retorno de um pulso de laser sobre uma superfície, as posições determinadas pelo perfilamento laser são capturadas. Objetivando corrigir os movimentos da aeronave, são geradas e gravadas pelo sistema de medição inercial as atitudes referentes a cada distância medida. A atitude representa a orientação do centro de medição do sensor no espaço e pode ser descrita pelos ângulos de Euler, os quais definem as rotações a que está sujeito o sensor segundo os eixos cartesianos (LOHR e EIBERT, 1995). O tamanho dos objetos em relação à projeção do feixe e os elementos que compõem a superfície varrida determinam a intensidade do pulso que retorna ao sensor e, assim, um pulso pode não atingir um único objeto podendo ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Nesses casos, o ponto mais próximo ocasionará o retorno de parte do feixe laser (primeiro retorno) mais rapidamente enquanto o ponto mais distante ocasionará um último retorno de parte do feixe laser. Este fato é de significativa relevância quando se considera a diferença de penetração que pode existir a partir de um único pulso (BEHAN, 2000), o que permite a distinção de elevações. O produto final deste sistema LASER é uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais e valores de intensidade do objeto refletido.

No mercado, basicamente existem dois tipos de sistemas LIDAR, o sistema LIDAR topográfico e o sistema batimétrico. A principal diferença é que o topográfico emite apenas um feixe de luz enquanto o batimétrico usa 2 feixes de luz, sendo um na faixa do infravermelho (1064nm) e o outro na região azul-verde (532nm) do espectro. O feixe infravermelho é completamente refletido na água, enquanto o feixe azul-verde penetra na superfície da água e é refletido pelo fundo; desta forma, a profundidade pode ser calculada através da diferença entre os dois sinais. Porém, para o uso desta técnica, alguns fatores devem ser observados, tais como: refração, dispersão e absorção na superfície, ao longo da profundidade, e no fundo da água, bem como sua turbidez. A combinação desses efeitos limita a intensidade de retorno

do fundo, determinando, portanto, a profundidade máxima detectável (IRISH e LILLYCROP, 1999).

Já o sistema LIDAR topográfico geralmente opera na região do infravermelho próximo, emitindo pulsos de alta potência em curtos intervalos de tempo, em espectro óptico estreito. Qualquer sistema LIDAR determina, de alguma maneira, a distância entre o aparelho sensor e o ponto iluminado desejável (WEHR e LOHR, 1999).

A acurácia dos dados LIDAR depende, dentre outros fatores, do posicionamento da aeronave que é feito através do uso de um par de GPS, sendo um aparelho instalado na aeronave e outro no solo, possibilitando a correção diferencial e refino das coordenadas através do pós-processamento de dados do GPS (SANTOS JUNIOR., 2007). Todos os dados gerados em voo (GPS, LASER *Scanner* e sistema de medição inercial) são combinados para definir a posição precisa dos pontos medidos. Segundo MAAS (2003), a precisão do sistema é de ± 15 cm para altimetria, enquanto a precisão planimétrica é determinada pelo fator $\pm (H/2000)$, onde H é a altura de voo em metros.

O uso da tecnologia de mapeamento digital a laser, ou LIDAR, como é conhecida internacionalmente, vem crescendo nos últimos anos, pois se destaca como uma alternativa eficiente, de custo efetivamente baixo e de alta produtividade, se comparada com métodos convencionais de aquisição de dados tridimensionais para uso, principalmente, em topografia e cartografia. Tem sido aplicada em diversas áreas, tais como: oceanografia, avaliação de risco de inundações, redes de transmissão de energia, florestas, agricultura, petróleo, transportes, planejamento urbano e mineração (GIONGO, et al. 2010; RIVAS; BRITO, 2012). O trabalho pioneiro no setor florestal que se utilizou da técnica de ALS, segundo NAESSET (2004), foi desenvolvido por SOLODUKHIN et al. (1977), que teve como tema a comparação de estimativas fotogramétricas da altura das árvores com estimativas a Laser, obtendo resultados apontados pelos cálculos da raiz do erro médio quadrático (RMS) com apenas 14cm. Nessa mesma linha, ZANDONÁ et al. (2008) propuseram um método para estimar variáveis dendrométricas do Pinus, a partir de dados ALS.

Atualmente, o sistema LIDAR de uso florestal funciona geralmente de forma discreta (não contínua) com emissões e retornos dos feixes de luz, sendo que o feixe possui entre 15 e 90cm de diâmetro de faixa instantânea iluminada pelo pulso Laser. Em aplicações florestais, este sistema possibilita o posicionamento preciso tridimensional de superfícies reflexivas como solo, água, construções e vegetação, que podem ser constituídas de diversos elementos (RODRIGUES et al., 2010).

Segundo RODRIGUES et al. (2010), a possibilidade de registrar mais de um retorno aumenta o leque de possíveis aplicações desta tecnologia.

A fim de melhorar seus serviços, as empresas de transmissão de energia elétrica vêm buscando novas tecnologias que facilitem a tarefa de controle, sobretudo das redes de linhas transmissão. Uma dessas tecnologias é o LIDAR, que possibilita o mapeamento digital e a geração de MDT, produto que facilita o gerenciamento de redes de transmissão, possibilitando o planejamento, a localização da área de execução dos projetos, a construção e a manutenção da rede.

Se a linha de transmissão já existe, o dado LIDAR proporciona a localização real da linha, por toda sua extensão, permitindo a verificação da existência, ou não, de obstáculos sob/sobre a linha. Esse tipo de estudo pode identificar potenciais obstáculos que causarão eventuais sobrecargas na rede, ajudando no planejamento da remoção dos mesmos. Os dados LIDAR permitem a determinação da altura mínima que os cabos/linhas devem estar em relação ao solo, verificando a altura de segurança.

Tendo em vista as dificuldades encontradas para a construção de novas linhas, e os elevados custos dessas redes, as empresas energéticas têm investido em novas tecnologias. Para executar a função de recapacitação das RT deve se conhecer as condições reais em que a linha se encontra, bem como as possibilidades de ampliação. O levantamento da RT é efetuado em campo, para determinar a posição dos cabos nos intervalos entre as torres. Essa tarefa, além de onerosa, demanda muito trabalho, se considerada toda a extensão da linha. Adicionalmente, são coletadas informações, como a situação de uso e cobertura do

solo na faixa de domínio, além dos dados de outros fatores como temperatura e insolação.

Atualmente, o LIDAR permite levantar uma grande gama de informações com qualidade e precisão compatíveis com a demanda do setor elétrico. Esses dados podem ser coletados e analisados por programas computacionais de LT, gerando informações extras, como a temperatura máxima que os cabos poderão atingir, dada a altura de segurança das normas.

Na implantação de novas linhas, é possível definir características do perfil do terreno, por onde elas passarão, dentro de um conjunto de dados LASER. A partir da faixa de domínio pode-se pré-definir o alinhamento em que a linha/rede será instalada. Deste modo, além de um estudo mais detalhado de alternativas de traçados do percurso da linha, serão gerados menores impactos ambientais e reduzidos os custos do projeto.

Outras utilizações do LIDAR em LT que merecem destaque consistem no monitoramento de invasões por terceiros e na limpeza da faixa de domínio. Após tratamentos computacionais, os dados reais LIDAR permitem detectar, de forma rápida e precisa, ocupações irregulares e áreas de riscos, caracterizadas, por exemplo, pela proximidade das áreas invadidas e pelo crescimento de árvores. Desta forma, podem ser elaborados mapas de risco que possibilitam definir medidas preventivas, como um planejamento de limpeza e podas de árvores, além da retirada de invasores, evitando problemas com o consumidor e prejuízos para a empresa concessionária do serviço (KERSTING,2006).

3.4 Classificação Digital de Imagens

As técnicas de classificação visam atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades, podendo ser elas espectrais e/ou espaciais. Para JESEN (2004) o processo de atribuir significado a um *pixel* em função de suas propriedades numéricas é chamado genericamente de classificação. Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas que apresentam um mesmo significado em imagens de satélite (KÖRTING, 2006).

Conforme MENESES e ALMEIDA (2012), classificação de imagens pode ser definida em várias perspectivas, das quais serão apresentadas apenas as utilizadas nessa pesquisa. A primeira abordagem busca o reconhecimento de padrões através do princípio de que “(...) *diferentes feições manifestam diferentes combinações de DN baseados em sua reflectância espectral inerente e propriedades de emitância*” (LILLESAND et. al. 2008). Assim, o fundamento deste processo refere-se a um conjunto de medições de radiância obtidas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, ou seja, bandas dos sensores. A este processo denomina-se padrão de reconhecimento espectral, pois utiliza informações espectrais *pixel-a-pixel*, baseado em técnicas automáticas para classificar a cobertura do solo (LILLESAND et. al. 2008).

Os diversos métodos de classificação em uso podem ser divididos segundo diferentes critérios: classificação paramétrica e não-paramétrica, classificação espectral e espacial, e classificação supervisionada ou não-supervisionada (MENESES e ALMEIDA, 2012). Há ainda a possibilidade de dividir os classificadores em classificação por *pixel* ou por regiões. A maioria dos classificadores executa a classificação por *pixel*, que se utiliza somente da informação espectral de cada *pixel* para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um *pixel* pertencer a uma classe específica. Na classificação por regiões o processo de decisão leva em consideração um agrupamento de *pixels* que é usado como unidade de classificação (MENESES e ALMEIDA, 2012). Com isso se procura simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas nas imagens baseadas nas propriedades espectrais e espaciais dos objetos (KURY e VIEIRA, 2001).

3.4.1 Segmentação de Imagens.

De acordo com GAO (2009), a segmentação trata-se da decomposição de uma imagem em regiões discretas, contíguas e que não se interceptam, constituindo, semanticamente, segmentos significativos.

Segundo GONZALEZ e WOODS (1987), as técnicas de extração de informação a partir de imagens pertencem à área do processamento referida como análise de imagens, que para ser executada tem como passo inicial a realização de

uma segmentação. A definição para a segmentação de imagens esta diretamente relacionada à área na qual será aplicada. Dentro de uma visão computacional, a segmentação refere-se ao processo de decomposição de uma imagem digital em vários segmentos (regiões) que a formam (JAIN, 1989). Já para a área de Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto a segmentação de imagem é a parte da análise de imagem que trata da definição de objetos geográficos ou regiões em uma imagem (MOIK, 1980).

A segmentação de imagens tem basicamente dois objetivos: decompor a imagem em partes para posterior análise; realizar uma mudança de representação (SHAPIRO e STOCKMAN, 2001). O resultado final esperado de um processo de segmentação é um número finito de regiões homogêneas, que individualizam as diferentes regiões contidas numa imagem. Sendo assim, a imagem seria formada por um conjunto de regiões, conectadas pelas suas bordas e que não se sobrepõe, de tal forma que cada *pixel* da imagem pertence unicamente a uma determinada região (ACHARYA e RAY, 2005).

O desenvolvimento dos algoritmos de segmentação leva em consideração duas características básicas dos *pixels* que envolvem dois conceitos: descontinuidade e similaridade. Por meio do uso desses conceitos, conforme estruturado por GONZALEZ e WOODS (1987), a segmentação é feita usando-se detecção de bordas e detecção de similaridades. Por sua vez, os métodos mais comuns empregados na segmentação podem ser divididos em três grupos principais, de acordo com a forma como veem a imagem: Métodos de segmentação no domínio espacial; Métodos de segmentação no espaço de medidas; e Métodos de segmentação no domínio da frequência (GONZALEZ e WOODS, 1987).

Métodos Usados na Segmentação de Imagens:

a) Detecção de Descontinuidades.

Conforme GONZALEZ e WOODS (1987), as descontinuidades encontradas em uma imagem podem ser pontuais, lineares ou nos limites (bordas) de um objeto. Essas feições se sobressaem numa imagem, seja por possuir tons de cinza distintos das regiões nas quais estão inseridas (caso de pontos e linhas) ou por assinalarem mudanças bruscas de tons de cinza entre regiões (caso de bordas e linhas). Os

algoritmos desenvolvidos para detectar essas discontinuidades usualmente usam a convolução, implicando no uso de máscaras. Os métodos de detecção de discontinuidades, mais particularmente os de detecção de linhas e de bordas, apresentam geralmente como resultados falhas de detecção. Portanto, esses métodos devem ser seguidos de processamentos visando sanar essas falhas (GONZALEZ e WOODS, 1987).

- Detecção de pontos e linhas:

A ideia que está por trás dos algoritmos para a detecção de pontos e linhas é que essas feições podem possuir tons de cinza muito diferente quando comparada aos seus vizinhos. Sendo assim, a detecção pode ser realizada por meio da aplicação de uma máscara que forneça uma resposta R e um adequado limiar não negativo T . Ao se aplicar a máscara sobre a imagem, os pontos que retornarem valores acima do limiar estabelecido são detectados, ou seja, $R > T$.

- Detecção de bordas:

A detecção de bordas é a abordagem mais comum para detecção de discontinuidades (GONZALES e WOODS, 1987). Em uma imagem a borda é definida como sendo o limite entre duas regiões com diferentes propriedades. Devido ao processo de amostragem em uma imagem digital, a borda aparece com uma pequena suavização em torno do verdadeiro limite das regiões.

b) Detecção de Similaridades.

Detecção de similaridade tem como fundamento a observação do interior dos objetos e não as fronteiras que os delimitam. Para tanto, parte da idealização que os *pixels* que compõem um objeto têm propriedades similares enquanto que *pixels* de objetos distintos têm propriedades distintas. A formulação básica adotada para este tipo de abordagem é dada por FU e MUI (1981). Segundo os autores, se considerar R como sendo uma imagem, a segmentação é a decomposição de R em n regiões $R_1, R_2, (\dots), R_N$.

- Crescimento de regiões:

O princípio do funcionamento da técnica de crescimento por regiões é agrupar *pixels* ou sub-regiões em regiões maiores (GONZALES e WOODS, 1987). Seu início se dá com a adoção de um conjunto de *pixels* sementes, a partir dos quais é realizado o crescimento das regiões por meio da inclusão de *pixels* vizinhos que tenham atributos similares, tais como, intensidade, textura, cor, etc. O crescimento ocorre interativamente até que cada *pixel* seja processado e sejam formadas diferentes regiões cujas fronteiras possam ser definidas por polígonos fechados e os *pixels* internos a essas compartilhem de certa similaridade.

- Pirâmides:

A ideia que está por trás da abordagem piramidal é dividir a imagem em elementos de área arbitrários e disjuntos para então, a partir desses, realizar a junção ou divisão das regiões. A abordagem tradicional para essa técnica é subdividir a imagem em quadrantes usando convenientemente a estrutura de dados denominada quadtree (abreviatura da expressão em inglês *quadratic picture tree*). Nessa estrutura a imagem é representada por um nodo pai (nível $n=0$), enquanto que os quatro quadrantes são representados por quatro nodos filhos (nível $n=1$), e assim por diante em uma ordem pré-determinada.

- Detecção de Bacias:

Segundo GONZALES e WOODS (1987) a detecção de bacias pode ser vista como uma combinação entre detecção de bordas e junção de regiões. Essa técnica baseia-se no princípio de inundação de relevos topográficos. Essa abordagem vem do princípio de que uma imagem em níveis de cinza pode ser vista como um relevo topográfico, formado por vales, que representam as regiões mais escuras da imagem, e por montanhas, que representam as porções mais claras. É possível visualizar a inundação de duas maneiras distintas: a água vinda de cima, como se fosse chuva; ou vinda de baixo, como se o relevo estivesse perfurado nos pontos de altitude mínima e fosse imerso em um lago. Conforme as bacias vão sendo inundadas, águas provenientes de diferentes bacias são denominadas *watersheds*. Quando a água atinge o maior pico no relevo, o processo termina. O resultado da inundação é a separação das regiões que compõem a imagem delimitada pelas linhas divisórias das bacias.

c) Segmentação no Espaço de Atributos

- Limiarização:

A limiarização é a forma mais simples de segmentar imagens e uma das abordagens mais importantes para a segmentação (GONZALES e WOODS, 1987). Nessas técnicas, um objeto pode ser entendido como uma região formada por *pixels* contíguos que tenham em comum uma faixa de intensidades. Dessa forma, a limiarização usa a intensidade dos *pixels* para distinguir as regiões (GONZALES e WOODS, 1987).

- Agrupamento (*Clustering*):

Uma das ideias principais das técnicas de segmentação é encontrar e individualizar as regiões na imagem que tenham feições similares. Intuitivamente, padrões pertencentes a um dado grupo devem ser mais similares entre si do que em relação a padrões pertencentes a outros grupos. Neste tipo de segmentação um conjunto de dados é substituído por grupos ou *clusters*. *Clusters* são regiões contínuas deste espaço e que contém uma alta densidade de pontos, separadas de outras regiões densas, por regiões com baixa densidade de pontos (GONZALES e WOODS, 1987).

- k-médias:

O k-médias é um algoritmo não supervisionado usado em reconhecimento de padrões e segmentação de imagens, que gera *clusters* de n objetos baseados em atributos a partir de k partições, sendo $k < n$. O algoritmo presume que os atributos dos objetos formam um espaço vetorial, e tem por fundamento principal minimizar a variância intra-agrupamento total, ou seja, a função dada pela equação 1:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2 \quad \text{Eq 1}$$

Onde existem k *clusters* S_i , $i = 1, 2, (\dots), k$, e μ_i é o centróide ou ponto médio de todos.

Para fins de classificação o valor de k representa o número de classes definidas a priori pelo usuário. A principal desvantagem do k -médias é que em termos de desempenho o algoritmo não garante o resultado global ótimo. Pois, a qualidade da solução final depende muito dos conjuntos iniciais de *clusters*, podendo na prática, vir a se afastar muito do ótimo global (GONZALES e WOODS, 1987).

3.4.2 Classificação Direcionada a Objetos

Os métodos tradicionais de classificação *pixel-a-pixel* ou por região (segmentação), apresentam limitações na identificação com fidelidade de áreas heterogêneas, quando utilizados em imagens de alta resolução, como, por exemplo, no caso do uso do solo intra-urbano. As imagens de alta resolução alteraram o foco da classificação, onde antes um *pixel*, representava vários elementos imageados, nas imagens de alta resolução um objeto é representado por vários *pixels*. Neste exemplo a maior dificuldade é devida a semelhança do comportamento espectral de diferentes materiais da superfície urbana.

O método de classificação que consegue agregar esses elementos é o orientado a objeto (*object-oriented*), por considerar os objetos ou segmentos e não apenas as respostas espectrais do *pixel*, de tal forma que cada objeto tenha atributos próprios e as propriedades que lhe deram origem geram as classes através de uma rede hierárquica (ZHOU et al., 2009).

O conceito de OBIA - *Object-Based Image Analysis*, ganhou o interesse da comunidade *GIScience* (*Geographic Information Science*) ou comunidade de tecnologias da geoinformação, por volta do ano de 2000, ocasião em que foi lançado o software comercial que levava o nome da técnica. O surgimento de OBIA tem mostrado ser uma ponte fundamental para conceitos espaciais aplicados na análise multi-escala, SIG - Sistemas de Informação Geográfica e, para a sinergia entre imagens-objetos e suas características radiométricas (BLASCHKE et. al., 2008) . A OBIA oferece um quadro metodológico para a interpretação baseada em máquina para classes complexas, definidas por suas propriedades hierárquicas, espectrais, espaciais e estruturais (BENZ et al, 2004).

Segundo HAY e CASTILLA (2008), a abordagem orientada a objetos possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens: pelo

fato de os elementos considerados não serem os *pixels* isolados, mas grupos deles (regiões de *pixels*). Dessa forma, obtém-se um significativo aumento no número de variáveis consideradas na classificação, pois além das informações espectrais, torna-se possível descrever cada região usando parâmetros em relação à forma do objeto (área, altura, largura, densidade, altura da borda, entre outros), à textura, às relações entre objetos vizinhos, entre outros.

As técnicas de classificação visam atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades, podendo ser elas espectrais e/ou espaciais.

Atualmente um dos classificadores mais utilizados é o de máxima verossimilhança (MAXVER). Contudo esse classificador não apresenta respostas satisfatórias quando aplicado em imagens de alta resolução espacial, devido gerar elevada heterogeneidade entre alvos que são identificados pela resposta espectral pixel-a-pixel. Alguns autores afirmam e comprovam a necessidade de métodos alternativos que não se limitem apenas a atributos espectrais. Entre esses métodos está o orientado a objeto que apresenta boa resposta quando aplicado a imagens de alta resolução (PINHO, 2006).

A estratégia principal do *software* eCognition (DEFINIENS, 2015) baseia-se na construção de uma rede hierárquica de objetos de imagens que permite representar o conteúdo de informações da imagem em diferentes resoluções (escalas) simultaneamente (DEFINIENS, 2015). Ao operar nas relações entre os objetos da rede é possível classificar ou reclassificar informações de contexto local. A segmentação multiresolução da imagem resulta em segmentos ou objetos (conjunto de *pixels*) que, baseados em parâmetros espectrais, de forma, entre outros, podem ser reagrupados em objetos maiores ou “super-objetos”, que são homogêneos quanto aos parâmetros estipulados, e representados por meio de redes semânticas (KERSTING, 2006).

PINHO (2006) comenta que a classificação orientada a objeto “... *permite a inserção do conhecimento do analista (características das feições a serem identificadas: cor, tamanho, forma, padrão, textura, contexto etc.)*”, estruturando em forma de rede semântica. Nestas redes, são modeladas relações espaciais e não

espaciais entre as classes de determinada aplicação. Algumas vantagens da abordagem orientada a objeto são:

- Permite explorar todas as dimensões do Sensoriamento Remoto, incluindo as seguintes:
 - Espectral (bandas multiespectrais mais a pancromática);
 - Espacial (área, comprimento, largura e direção);
 - Morfológica (parâmetros de forma e textura);
 - Contextual (relacionamento com a vizinhança, análise de proximidade);
 - Temporal (séries temporais).
- Incorporar métodos/técnicas correntes comprovadas usadas para análise de imagens tais como classificação supervisionada, lógica fuzzy, classificação baseada em regras;
- Incorporar várias funcionalidades de um GIS para classificação temática incluindo como informações auxiliares: shapefile, cálculo de distâncias, entre outras;
- Extrair características provenientes da mesma cena em diferentes resoluções.

A classificação orientada a objeto é baseada na segmentação multiresolução, onde objetos comuns são agrupados em classes organizadas de forma hierárquica em um nível inferior (subclasses) e herdam as características da classe do nível superior (superclasses) (PINHO, 2005).

Para LANG (2008), o princípio orientador da OBIA é tão claro quanto ambicioso: representar o conteúdo, cena complexa, de tal forma que a realidade imageada seja melhor descrita e o respectivo conteúdo seja compreendido, extraído e transportado para os usuários. A realização, portanto, não é trivial, pois a referência última de OBIA é a percepção humana. OBIA supera a visão de *pixels* e fornece objetos de imagem que fazem sentido, abrindo uma nova dimensão na análise automática de imagem baseando-a em regras, objetos de imagem que podem ser rotulados diretamente usando uma variedade de características, inclusive espaciais, podendo ser usados para a modelagem complexa de classes com base em suas relações espaciais (LANG, 2008). Para CAMPBELL (2002) o conhecimento

desempenha um papel fundamental na interpretação objetiva, proporcionando agregação de valor na cadeia de processos do Sensoriamento Remoto. O conceito de objeto é fundamental neste tipo de interpretação devido ao fato das informações semânticas estarem relacionadas aos objetos das imagens e suas relações entre si e não ao *pixel* (ANTUNES, 2003). O classificador permite usar para determinar as classes o algoritmo vizinho mais próximo ou regras de pertinência *fuzzy*. Na lógica *fuzzy* um objeto pode ser associado a várias classes com diferentes graus de pertinência que pode variar de 0 (não pertence) a 1 (pertence), deste modo o objeto é associado à classe com maior pertinência (ANTUNES, 2003).

ANTUNES (2007) utilizou abordagem *fuzzy* associada à classificação de imagens baseada em objeto para a detecção de áreas de aglomerados subnormais no município de Paranaguá, obtendo resultados oriundos da análise das características que vão além das características espectrais do objeto, como forma, textura e contexto.

VIEIRA (2012) combinou o uso de OBIA com técnicas de DM (*Data Mining*) para a automação do mapeamento de cana em grandes áreas, utilizando séries temporais de imagens de Sensoriamento Remoto. OBIA foi utilizado para representar o conhecimento necessário para mapear a cana, enquanto que DM foi aplicado para gerar o modelo de conhecimento. VERBEECK e ORSHOVEN (2012) utilizaram OBIA para detectar regiões de impermeabilidade e outras classes de cobertura do solo a partir de imagens multiespectrais de alta resolução, avaliando a integração de dados LIDAR e um grande conjunto de dados vetoriais nos processos. Outros trabalhos aplicando a técnica mostram bons resultados na redução de sombra (ZHOU et al. 2009).

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 LT 230kV Ibicoara/Brumado

A área de estudo é a área de abrangência da LT de 230kV Ibicoara/Brumado, localizada no estado da Bahia. A linha de transmissão aérea Ibicoara/Brumado escolhida para esse estudo pertence à Chesf - Companhia Hidroelétrica do São Francisco. A referida LT possui aproximadamente 94km de extensão e a opção por esta área se deu em decorrência de possuir dados oriundos de levantamento topográficos convencionais e também pelas suas características geomorfológicas e de uso e ocupação do solo. A LT 230kV Ibicoara/Brumado é localizada na Figura 3. Além da área de estudo possuir diferentes tipos de uso e ocupação do solo, também possui variação altimétrica ao longo da diretriz da LT que pode ser superior a 800 metros. Os principais usos e ocupações do solo, ao longo dessa LT, são capoeiras, APP - Área de Preservação Permanente, vegetação, mata ciliar, pastagens e as subestações de energia da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) localizadas, respectivamente, em Ibicoara e Brumado.

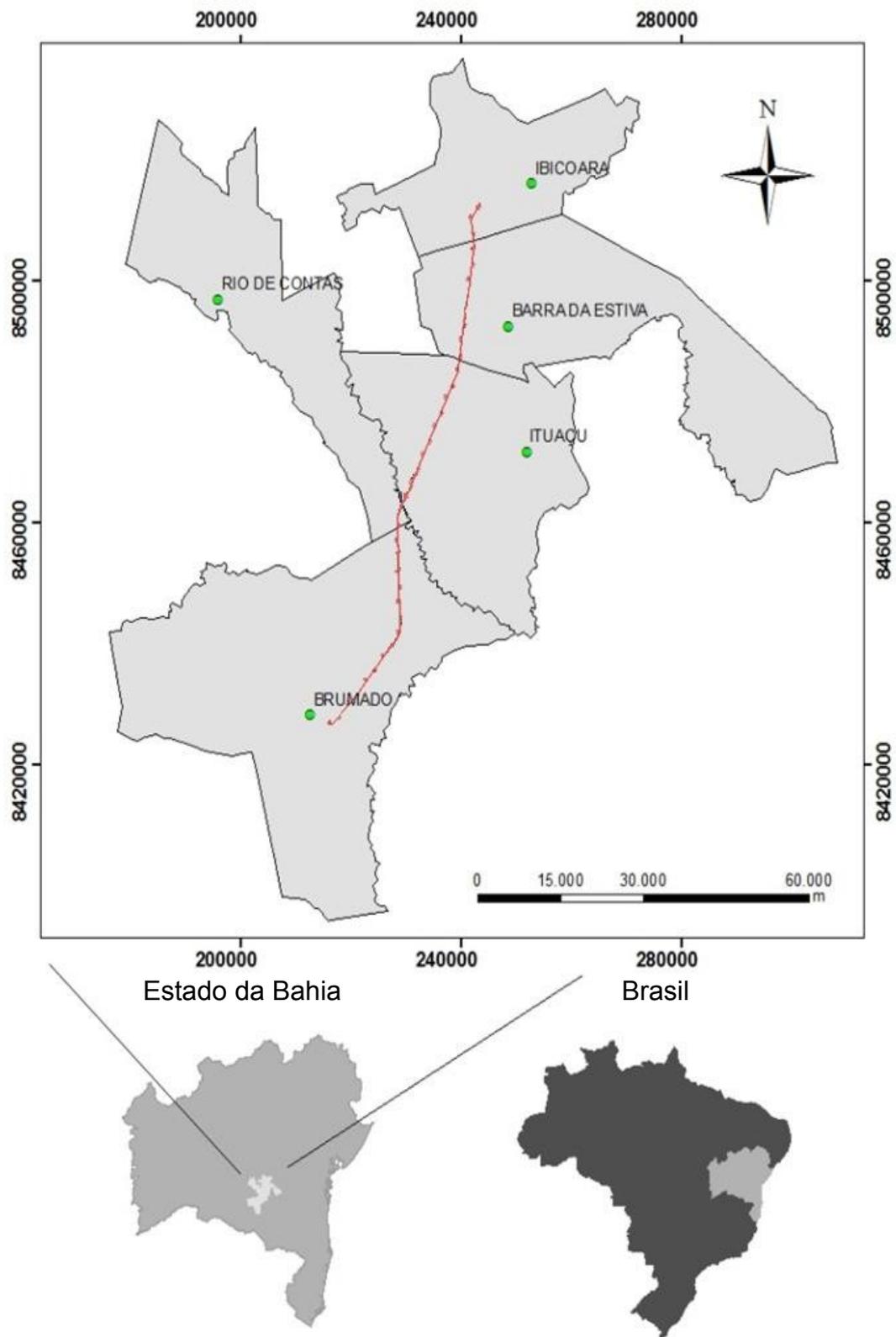


Figura 3. Localização da Área de Estudo. Fonte adaptada: RIMA (2009).

4.2 Clima e Condições Meteorológicas

Conforme RIMA (2009), o clima dos municípios de Ibicoara, Barra da Estiva, Jussiape, Ituaçu, rio de Contas e Brumado é seco, com médias pluviométricas anuais em torno de 600mm e chuvas concentradas de novembro a março. As temperaturas médias anuais são elevadas (superiores a 18°C), sendo que, dezembro é o mês mais quente (máxima entre 37 e 38°C). A estação seca é prolongada, a evapotranspiração é elevada e o índice de aridez é alto. O volume de chuvas nas cidades de Barra da Estiva e Ibicoara é maior (1000mm). No inverno, podem ocorrer algumas precipitações. A temperatura média anual é de 21 a 22°C. E o índice de aridez é nulo durante quase todo o ano. Boa parte dos municípios de Brumado, Ituaçu, Jussiape, Barra da Estiva e Ibicora possuem déficit hídrico acentuado, considerando que a quantidade de água evapotranspirada é superior à quantidade de água precipitada. Ventos intensos podem causar prejuízos como a instabilização de torres de transmissão. Em geral, no estado da Bahia, a intensidade dos ventos é maior entre junho e dezembro, com maior intensidade na região litorânea (RIMA, 2009).

4.3 Geologia

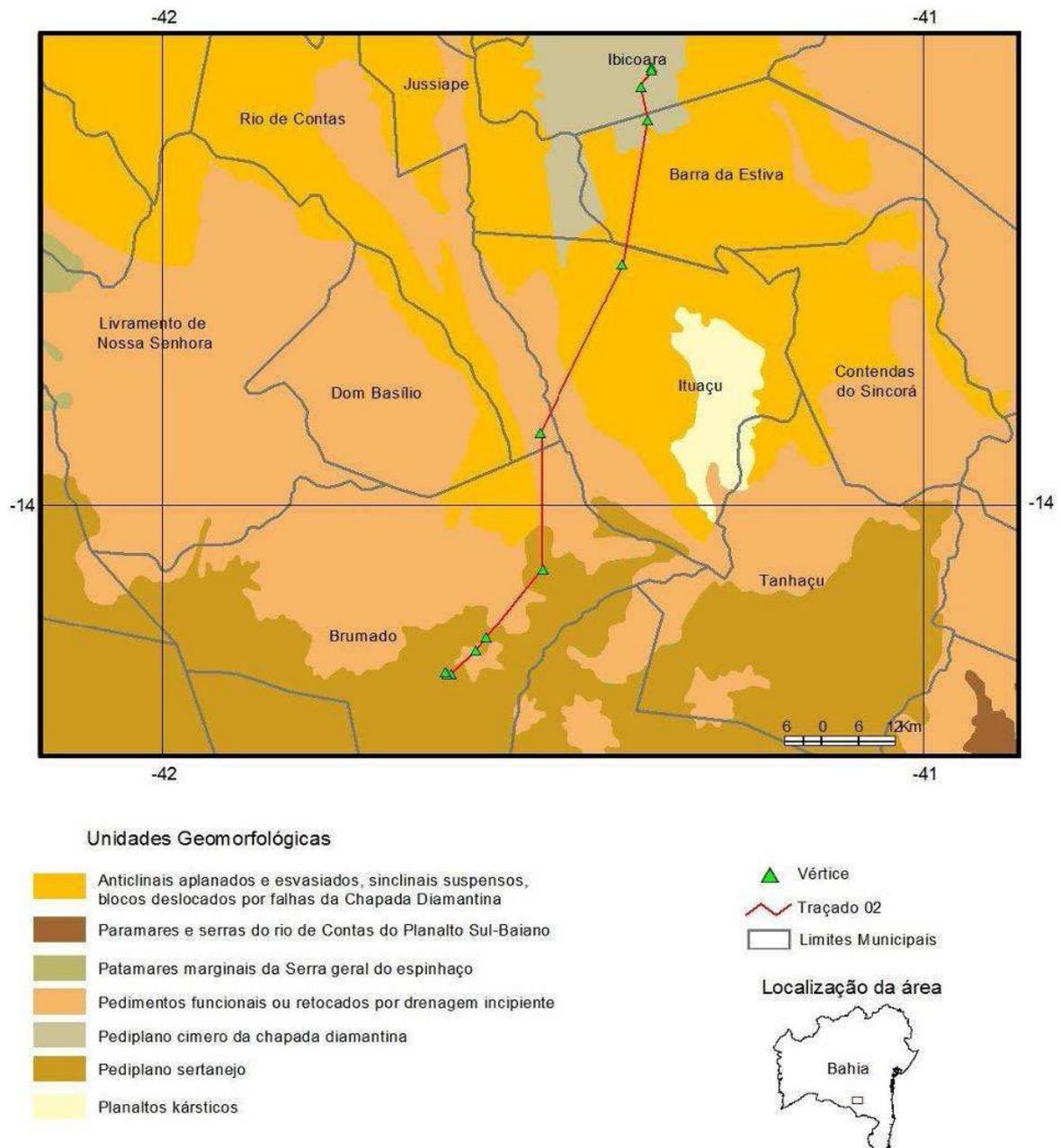
De acordo com RIMA (2009), a região do empreendimento está inserida na Província São Francisco e apresenta um embasamento arqueano de alto grau metamórfico (fácies anfibolito e granulito) constituído por ortognaisses. Os principais grupamentos litológicos são: Arqueano, Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Depósitos Recentes. As principais unidades geológicas presentes na faixa da LT são o Complexo Gavião (principalmente ortognaisses), o Grupo Paraguaçu (arenitos), a Formação Salitre, a Formação Bebedouro e as Coberturas detrito-lateríticas (RIMA, 2009). Em grande parte da área do empreendimento podem ser encontradas litologias relacionadas ao Bloco Gavião que ocorre principalmente no trecho final do traçado, sendo as rochas de maior abrangência (Figura 4).



Figura 4. Afloramento de gnaiss do Complexo Gavião. Fonte: RIMA (2019).

4.4 Geomorfologia

Segundo RIMA (2009), a área de estudo está inserida nos domínios geomorfológicos planaltos em Estruturas Dobradas e Depressões Interplanálticas, os quais apresentam mais de um compartimento geomórfico regional, bem como modelados de dissecação com diferentes graus de densidade e aprofundamento da drenagem. Entre os municípios de Ituaçu e Brumado (parte final do traçado), predominam relevos planos a suave ondulados. O relevo predominantemente plano e a cobertura vegetal do local possibilitam a infiltração das águas da chuva e diminuem os processos erosivos que estas causam quando escoam pela superfície. Assim como na Geologia, os impactos causados no relevo local não são significativos, devido à ausência de grandes intervenções do empreendimento nas camadas profundas do solo, sendo necessário apenas em algumas áreas de armazenamento de materiais e instalação de antenas (RIMA, 2009). A Figura 5 mostra as unidades geomorfológicas da área de estudo.



4.5 Solos

De acordo com RIMA (2009), em grande parte da área de influência do empreendimento ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, dentre outros, como pode ser observado no mapa de solos representado na Figura 6. Em geral, os Latossolos favorecem a prática agrícola e possuem elevada resistência à erosão, devido à mineralogia e ao relevo (plano). São solos profundos, porosos, com boa drenagem interna. Na área de estudo, devido ao pastoreio e a cobertura vegetal pouco desenvolvida, os processos erosivos estão presentes em alguns pontos ao

longo do traçado. A pecuária extensiva lidera regionalmente o uso do Latossolo Vermelho-Amarelo e Vermelho e utiliza pouca tecnologia. No vale do rio Brumado a agricultura é bem desenvolvida sobre esses solos, notadamente entre os municípios de Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio (RIMA, 2009). Observa-se, em poucas áreas, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), a qual é utilizada na alimentação animal. Verificou-se também o cultivo eventual de umbuzeiros (*Spondias tuberosa* L.) (RIMA, 2009).

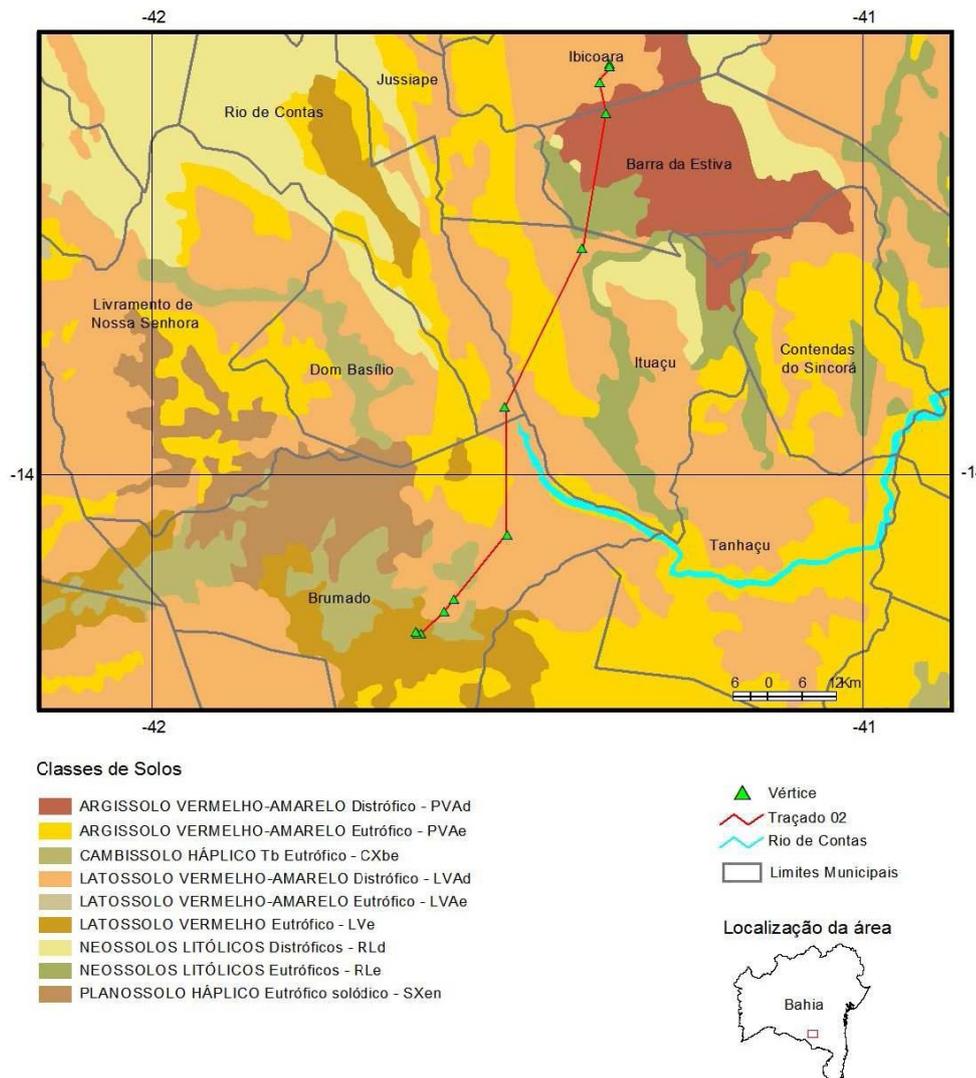


Figura 6. Mapa geral de solos. Fonte: RIMA (2009).

4.6 Hidrografia

Segundo RIMA (2009), o empreendimento está inserido na região hidrográfica do Atlântico Leste, nas bacias hidrográficas do rio Paraguaçu e rio de Contas. A porção Sul da área do empreendimento, próxima aos municípios de Brumado, Tanhaçu, Ituaçu e Barra da Estiva, está localizada na porção noroeste da bacia do

rio de Contas. Já a porção Norte da área, parte inicial do empreendimento, nas proximidades do município de Ibicoara, está localizada na porção sudoeste da bacia do rio Paraguaçu, onde predominam elevações das serras da Borda Ocidental da Chapada Diamantina (RIMA, 2009). A bacia do rio de Contas integra a maior parte de Brumado, Jussiape e Barra da Estiva e seus principais afluentes são os rios Brumado, Gavião e Gongogi, na margem direita, e na margem esquerda os rios Ourives, do Laço, Jequiezinho e Oricó. O corredor corta áreas pertencentes ao médio e alto rio de Contas e áreas do rio Brumado. As principais utilizações das águas do rio de Contas relacionam-se a irrigação, geração de energia elétrica e abastecimento. A bacia do rio Paraguaçu, na área cortada pelo corredor, abrange os municípios de Ibicoara (Figura 7) e parte do município de Barra da Estiva, no alto curso da bacia. Suas águas são utilizadas, principalmente, para abastecimento doméstico, agricultura e atividades de mineração. Os principais problemas nesta bacia são causados por atividades garimpeiras e de mineração (RIMA, 2009).

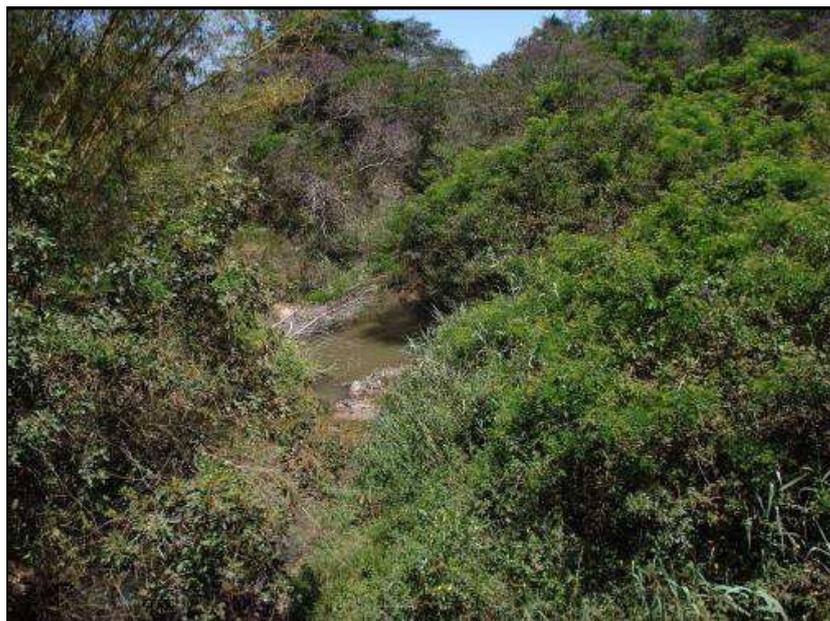


Figura 7. Rio Paraguaçu próximo ao município de Ibicoara. Fonte: RIMA (2009).

4.7 Vegetação

De acordo com RIMA (2009), no trecho de Ibicoara até a Serra Geral, observa-se o Cerrado com áreas de transição para campo rupestre. Da Serra Geral até Brumado, encontra-se basicamente Caatinga, exceto na Serra do rio de Contas, que apresenta vegetação semelhante a da Serra Geral. Em toda a extensão da LT

entre Ibicoara e Brumado, encontram-se áreas de pastagens (RIMA, 2009). Os tipos de vegetação existentes na área de influência do empreendimento, segundo suas fisionomias, são as seguintes:

a) Caatinga

Conforme RIMA (2009), a Caatinga apresenta plantas de baixo ou médio porte (herbáceo e arbustivo-arbóreo) típicas de ambientes secos, com predominância de leguminosas. Atividades como exploração silvo pastoril, madeireira e agricultura de subsistência devem ser ressaltadas, pois são importantes para o planejamento do empreendimento. Existe um grande número de pequenas e médias plantações, ocupando extensa área ao longo do rio Brumado, próximo à sede do município de Dom Basílio onde predomina a fruticultura. A Caatinga Arbórea (árvores distribuídas espaçadamente) é encontrada em praticamente toda a área do estudo, com exceção da região próxima à subestação de Ibicoara, onde predominam formações de Cerrado (RIMA, 2009). A Caatinga Arbustiva (arbustos), na área do estudo (Figura 8), ocorre preferencialmente entre as bordas da serras e os topos (RIMA, 2009). Estas formações foram observadas em toda a área da LT com presença de algumas aglomerações humanas ou projetos agropecuários (RIMA, 2009).



Figura 8. Caatinga arbustiva densa com a presença de espécimes de porte arbóreo isolados nas proximidades da sede urbana de Brumado. Fonte: RIMA (2009).

b) Cerrado

Conforme RIMA (2009), na área de estudo as formações de Cerrado são observadas apenas nos planaltos entre Jussiape e Ibicoara, e em alguns pontos na passagem pela Serra das Almas, entre os Municípios de Dom Basílio e Rio de Contas. Na região do corredor preferencial da LT (AID) são observados com maior frequência o Campo Sujo e o Cerrado *Stricto sensu*. O Campo Sujo ocupa grande extensão territorial ao longo do traçado da LT, juntamente com a formação de Campo Limpo, podendo ser encontrada em todo o trecho entre a subestação de Ibicoara até as bordas da serra, antes de Jussiape (Figura 9). O Campo Limpo é predominantemente herbáceo, com raros arbustos, ausência completa de árvores e apresenta composição florística bem variável. O Cerrado *Stricto sensu* constitui-se de plantas arbustivo-arbóreas, adaptadas ao ambiente seco, com caules e galhos grossos e retorcidos, distribuídos de forma esparsa, intercalada por uma cobertura de ervas, gramíneas e espécies semi-arbustivas (RIMA, 2009). Na área estudada, esta formação está presente no alto da Serra das Almas (maior altitude) e alguns morros, em áreas de transição com a Caatinga (RIMA, 2009).



Figura 9. Campo sujo em Ibicoara. Fonte: RIMA (2009).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Aspectos Gerais

No presente estudo é proposto um método para investigação das áreas da faixa de servidão ou segurança de LT suscetíveis à ocupação irregular, baseado no desenvolvimento de um modelo para a análise espacial, usando classificação orientada a objetos, com imagem CBERS-2B/HRC e MDS gerado a partir de dados SRTM (Quadro 4).

Quadro 4. Características dos sensores CBERS-2B/HRC e SRTM/SAR

Sensor	Banda espectral	Resolução				Área imageada
		Espectral	Espacial	Temporal	Radiométrica	
CBERS HRC	1 (PAN)	0,50 – 0,80 μm	2,7 m	130 dias	8 bits	27 Km (nadir)
SRTM SAR	C	5,6 cm	90 m	-	16 bits	225 Km

A área definida para este experimento é a linha de transmissão aérea (Ibicoara/Brumado). Detalhes da área de estudo foram apresentados no Capítulo 4 (Área de Estudo). A Figura 10 apresenta de forma ilustrativa o fluxograma da metodologia desenvolvida na pesquisa.

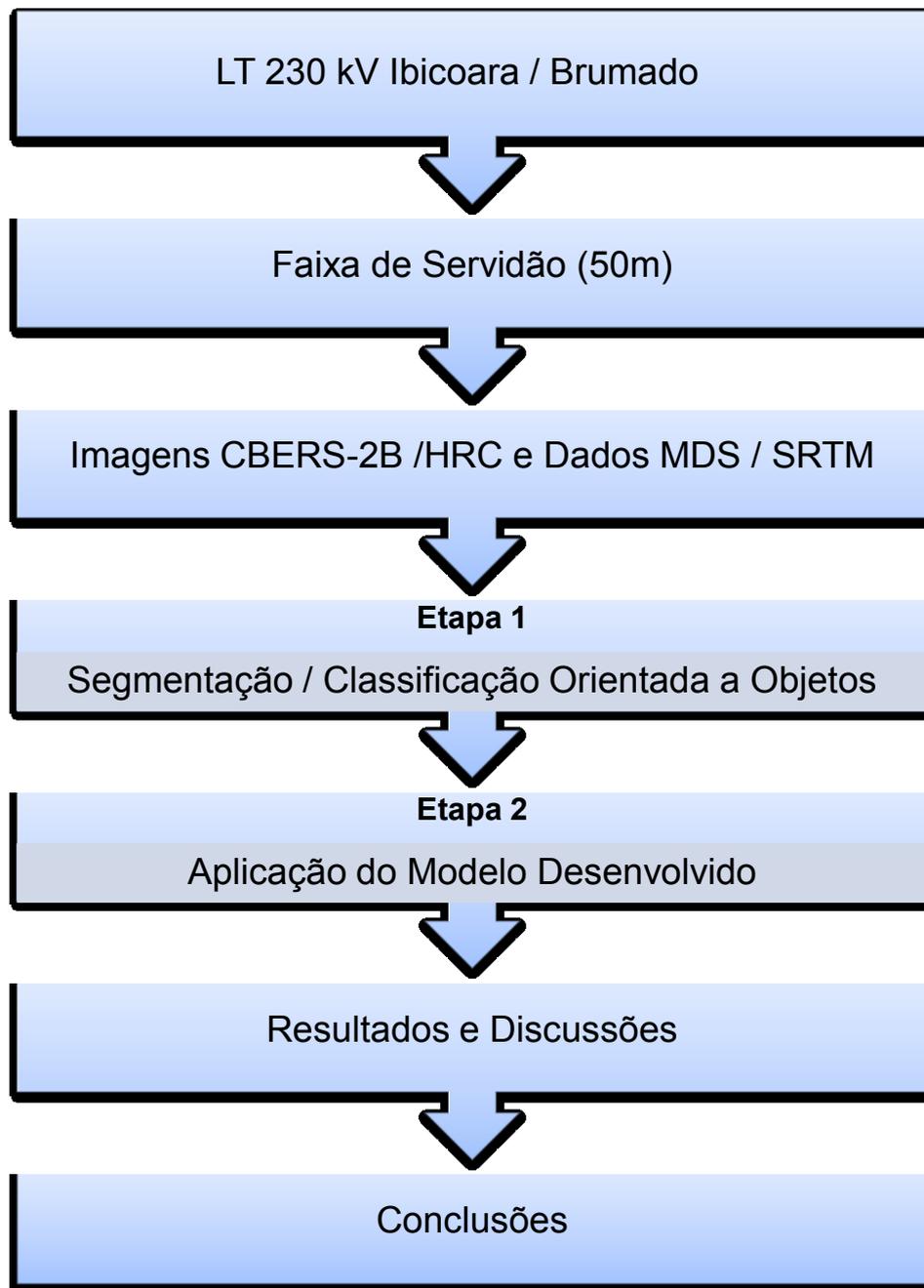


Figura 10. Fluxograma da Metodologia.

5.2 Materiais

A área teste foi escolhida estrategicamente, em cinco recortes distintos (a, b, c, d, e), compostos por coberturas variadas, como mostra a Figura 11 (a, b, c, d, e).

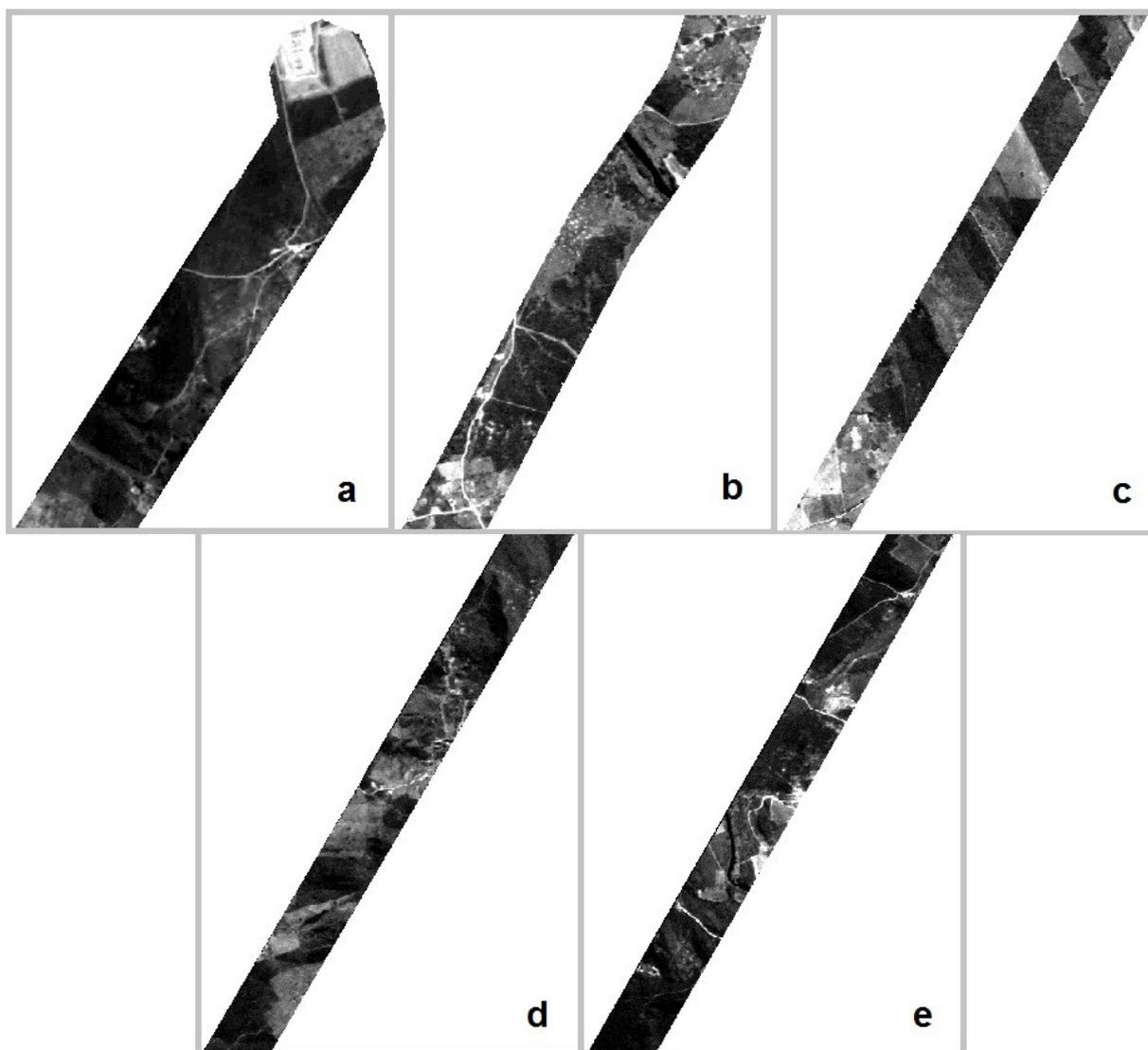


Figura 11. Faixa de Servidão da LT Ibicoara / Brumado: recortes distintos.

Na Figura 11a destaca-se a presença de estradas e da subestação de Ibicoara, no extremo norte; essa área é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM (Fuso 24S, Datum WGS84): N = 8511384,452m – 8512849,452m; E = 242140,162m – 243207,662m. Além de estradas na região sul a Figura 11b apresenta um rio mais ao norte; essa área é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM (Fuso 24S, Datum WGS84): N = 8461379,452m – 8463546,952m; E = 228177,662m – 229555,162m. A Figura 11c ilustra variadas feições contendo faixas de cultivo, pastagens, vegetação, bem como áreas de solo exposto; essa área é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM (Fuso 24S, Datum WGS84): N = 8466369,750m – 8469372,250m; E = 230467,656m – 232205,156m. Além de distintas coberturas, a área ilustrada na Figura 11d apresenta altas declividades;

essa área é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM (Fuso 24S, Datum WGS84): N = 8470179,750m – 8473167,250m; E = 232227,656m – 233940,156m. A Figura 11e apresenta área sombreada no extremo sul, um rio na parte central e estradas na região norte; essa área é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM (Fuso 24S, Datum WGS84): N = 8480554,750m – 8483552,250m; E = 236972,656m – 238710,156m.

As cenas ilustradas na Figura 11 são imagens pancromáticas do sensor HRC, do satélite CBERS-2B. A câmera HRC foi desenvolvida para coletar informações (imagens) com resolução espacial de 2,7 metros e resolução espectral de 0,5 a 0,8 μ m.

Utilizou-se, paralelamente, um conjunto dos dados SRTM, distribuídos gratuitamente pela NASA, com 3 segundos de arco (90 metros) de resolução espacial (DLR, 2013). Os dados SRTM permitem a geração de MDS, que foi fonte de informação para a obtenção do mapa de declividade (RABUS et al., 2003). Embora não apresente nenhuma melhoria na qualidade, os dados SRTM foram reamostrados para um grid de 2,7 metros, para compatibilizar com as imagens CBERS-2B/HRC. Os valores de elevação SRTM são codificados em metros, correspondendo à altitude referente ao modelo geoidal EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*).

O arquivo com o posicionamento das Torres foi cedido pela Chesf, obtido a partir de um levantamento topográfico.

5.3 Procedimentos Metodológicos

O método proposto é dividido em duas etapas: processo de Segmentação/Classificação e modelo para identificação de áreas aptas à ocupação. Para isso, foram utilizados os *softwares* ENVI 4.8 e Matlab2012.

A segmentação foi realizada usando o método de classificação orientada a objetos, implementado no módulo EX do *software* ENVI 4.8. Nesse processo de segmentação foi escolhido, empiricamente, o valor de escala igual a 90, a fusão igual a 95 e a alternativa de segmentação sem refinamento, em um processo interativo no ENVI 4.8. As classes usadas foram: vegetação, cultivo/pastagem,

estradas, solo exposto, construções e rios. Os resultados da classificação do uso e ocupação do solo na faixa de servidão podem ser vistas na Figura 12.

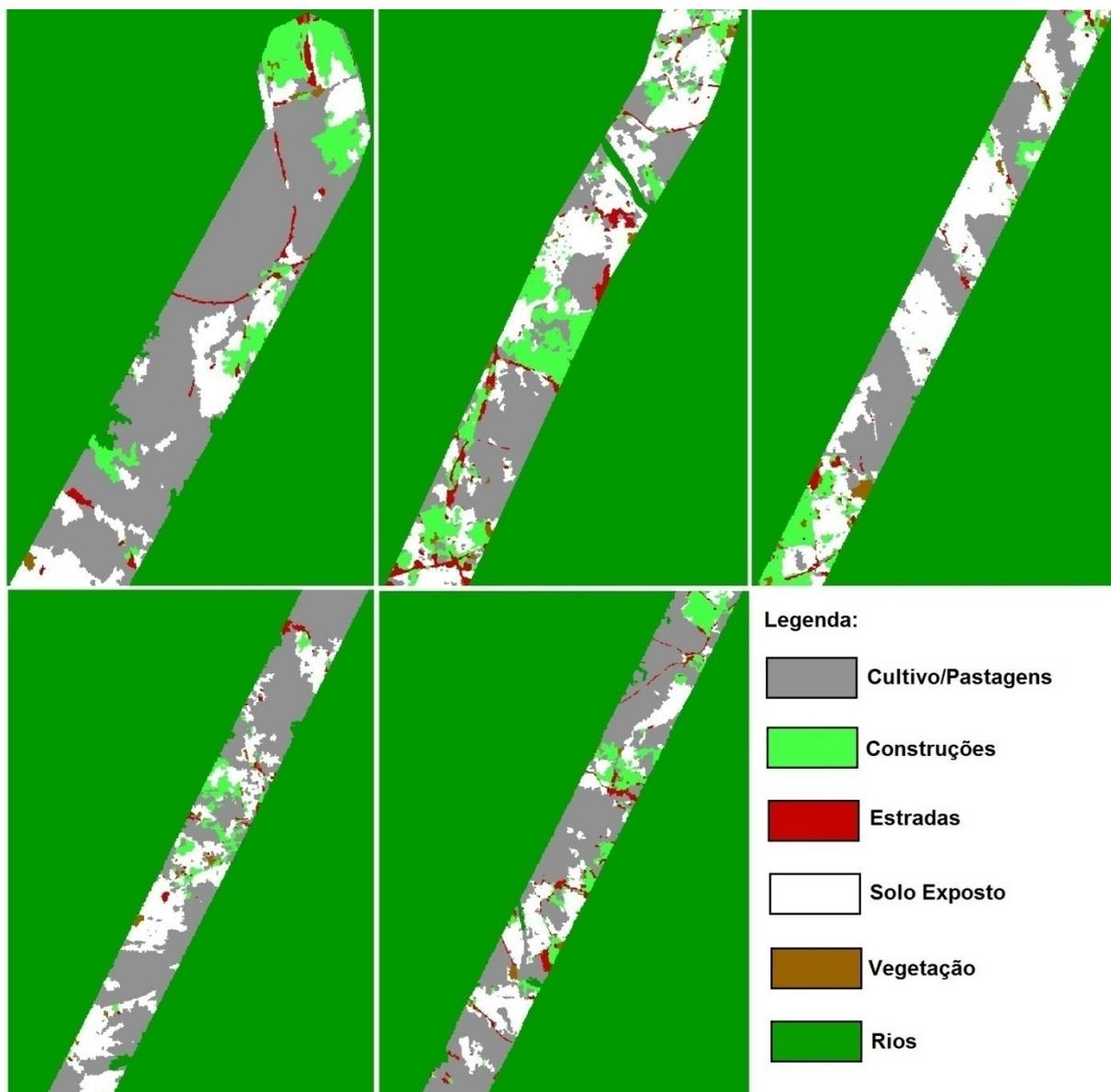


Figura 12. Imagens Classificadas.

O método proposto busca modelar parâmetros que influenciam diretamente no processo de identificação de áreas na faixa de servidão de LT suscetíveis à ocupação irregular. Os modelos levam em consideração os seguintes parâmetros: Declividade do terreno (Pd), Distância das torres (Pt), área construída/edificada (Pc), Solo exposto (Pse), estradas/rodovias (Pe), Vegetação (Pv), Cultivo/Pastagens (Pcp), Área coberta por água (Pa) e Sombras/Nuvens (Psn). Esses parâmetros foram definidos tendo por base as classes/objetos existentes/visíveis na imagem

usada, as informações de relevo (SRTM) e o posicionamento das torres da LT (arquivo Chesf).

O primeiro modelo (Equação 2) proposto é dado pela função logarítmica que pondera a influência da declividade no processo de ocupação da faixa de servidão em LT, como ilustra a Figura 13.

$$Pd = 1 - \log_{10}^p \quad \text{Eq 2}$$

Onde: $p = \frac{9}{dm_{\max}}x + 1$; x é o valor da declividade e dm_{\max} é a declividade máxima na área analisada.

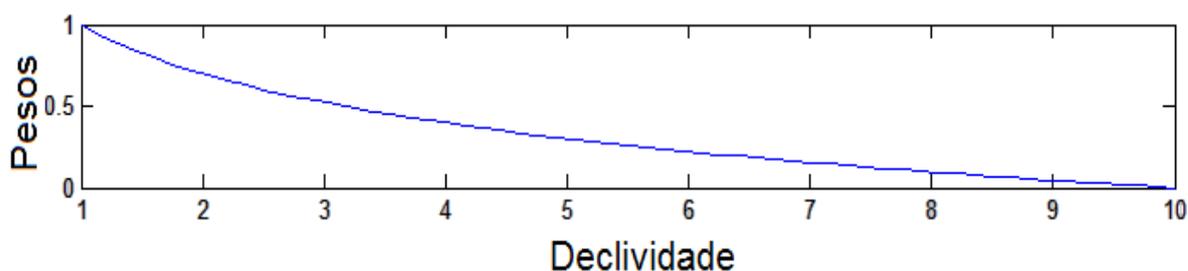


Figura 13. Ponderação correspondente à declividade do terreno.

Neste modelo, a premissa é de que áreas mais planas são mais propícias à invasão, ou ocupação irregular.

A distância das torres é outro parâmetro importante porque as áreas mais próximas, geralmente são respeitadas, devido à estrutura física instalada.

A ponderação desse parâmetro é dada pela Equação 3.

$$\begin{array}{ll} \text{Se } x \leq f_s & Pt = \log_{10}^p \\ \text{Senão} & Pt = 1 \end{array} \quad \text{Eq 3}$$

Onde: $p = \frac{9}{f_s}x + 1$; x é a distância de afastamento (distância entre a base de uma torre e o ponto analisado) e f_s é a largura da faixa de servidão da LT.

Para esse parâmetro, toda área afastada de uma torre, com distância maior que a largura da faixa de segurança, é totalmente suscetível à invasão (peso igual a 1), como mostra a Figura 14.

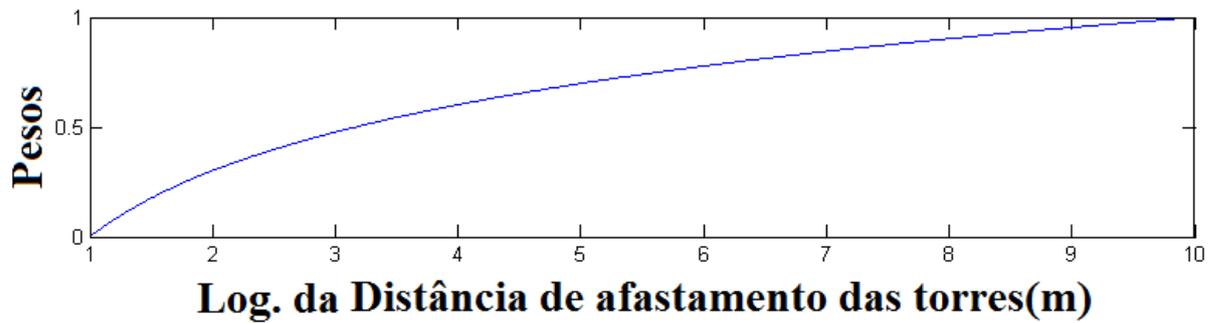


Figura 14. Ponderação correspondente à distância das torres.

Inversamente ao caso das torres, as áreas mais próximas às estradas/rodovias são mais suscetíveis à ocupação, pela comodidade de deslocamento para outros locais. Dessa forma, a ponderação para esse parâmetro é dada pela Equação 2 ($Pe = Pd$), onde $p = \frac{9}{100 \cdot fs}x + 1$; x é a distância de afastamento das estradas/rodovias e fs é a mesma largura da faixa de servidão da LT já apresentada. O gráfico terá o mesmo comportamento daquele apresentado na Figura 13.

Nesse caso, deveria ser levada em consideração a área da faixa de domínio da estrada/rodovia, contudo, conforme o Art. 50 do Código de Trânsito Brasileiro, expõe que o uso da faixa de domínio obedecerá às condições de segurança do trânsito (CTB, 2013). Considerando que essa área também é passível de ocupação irregular, foi atribuída a mesma ponderação correspondente à faixa de servidão.

As áreas próximas aos corpos d'água são igualmente desejadas nas ocupações irregulares, como os locais próximos às estradas. Nesse contexto, a ponderação para esse parâmetro reduz com o afastamento do corpo d'água, conforme Equação 4. Para áreas submersas, o peso é nulo, indicando que não ocorrerá ocupação.

$$\begin{aligned}
 \text{Se } x \leq lr/2 & \quad Pa = 0 \\
 \text{Se } lr/2 < x \leq lapp & \quad Pa = \log_{10}^p \\
 \text{Se } x > lapp & \quad Pa = 1 - \log_{10}^{p1}
 \end{aligned}
 \tag{Eq 4}$$

Onde: $p = \frac{9}{lapp}x + 1$; $p1 = \frac{9}{100 \cdot lapp}x + 1$; x é o afastamento em relação ao rio; lr é a largura do rio; e, $lapp$ é a largura das Áreas de Preservação Permanente

(APP), coletada de acordo com o Art. 4 do Novo Código Florestal (NCF, 2013), que trata da largura das faixas marginais (APP) de qualquer curso d'água natural. A largura (lr) de cada rio é obtida pela média de no mínimo cinco medidas realizadas ao longo do trecho do seu leito que cruza a faixa de servidão.

De acordo com o gráfico da Figura 15, as áreas submersas têm peso nulo, indicando que não ocorrerá ocupação; as áreas correspondentes às APP, embora proibidas, podem ser invadidas; e, as áreas fora das APP podem ser totalmente invadidas, mas quanto mais distante da água, menor o interesse.

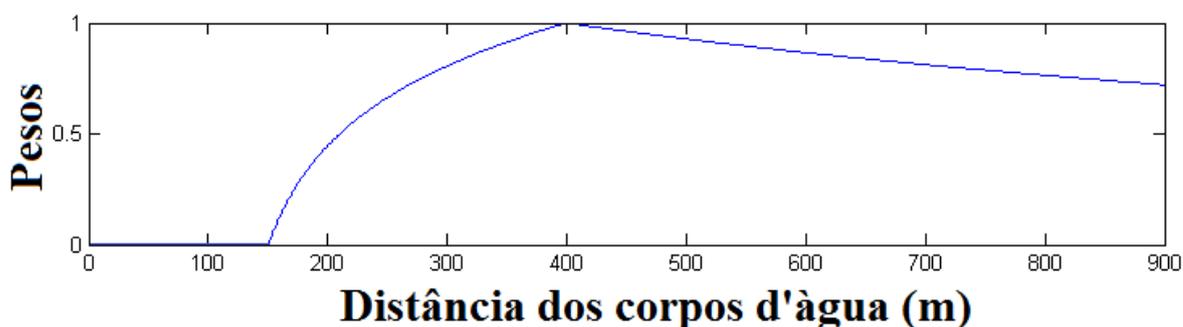


Figura 15. Ponderação correspondente à proximidade de corpos d'água.

Os demais parâmetros são medidos por meio de um mapa temático, onde cada tema recebe sua ponderação equivalente. Para as áreas construídas/edificadas existentes, a ponderação é 100%, uma vez que já existe a ocupação ($P_c=1$). A classe Solo exposto foi ponderada considerando a influência dos parâmetros: declividade (P_d), distância de torres (P_t) e distância de estradas (P_e), conforme modelo proposto na Equação 5.

$$P_{se} = P_d \cdot P_t \cdot P_e \quad \text{Eq 5}$$

A área coberta por vegetação (P_v), as classes de cultivo e pastagem (P_{cp}), e as áreas sobrepostas por sombras e nuvens (P_{sn}) são ponderadas com base na Equação 1, alterando apenas os valores de p , com $p = \frac{9}{0,8 \cdot fs} x + 1$, $p = \frac{9}{0,9 \cdot fs} x + 1$ e $p = \frac{9}{0,7 \cdot fs} x + 1$, respectivamente. Nesses modelos propostos ($P_v = P_d$, $P_{cp} = P_d$ e $P_{sn} = P_d$), a largura da faixa de servidão (fs) é multiplicada por uma constante que permite aumentar ou reduzir o peso dos parâmetros. A ponderação aumenta com o crescimento do valor da constante.

Finalmente, o modelo proposto para identificar Áreas Suscetíveis à Ocupação Irregular (ASOI), em faixas de servidão de LT, é dado pela Equação 6.

$$ASOI = Pd \cdot Pt \cdot Pc \cdot Pse \cdot Pe \cdot Pv \cdot Pcp \cdot Pa \cdot Psn \quad \text{Eq 6}$$

Todo o tratamento das imagens foi realizado usando o *software* ENVI 4.8. O registro da imagem CBERS-2B/HRC com os dados SRTM foi realizado com RMS menor que o *pixel*. A reamostragem dos dados SRTM foi realizada com o interpolador bilinear. As imagens (*layers*) de distâncias (das torres, dos rios, e das estradas) foram geradas com a função *Buffer*. O *buffer* das distâncias das torres foi realizado a partir dos pontos (coordenadas) fornecidos pela Chesf. A declividade foi gerada a partir da função *Topographic ->Modeling*.

O processamento com os modelos propostos foi realizado com rotinas elaboradas em ambiente Matlab2012. Essas rotinas permitiram tarefas de leitura e multiplicação dos *layers* (imagem de cada parâmetro) gerados a partir das imagens CBERS-2B/HRC e SRTM.

5.4 Resultados e Discussões

Os cinco recortes de imagens, juntamente com a imagem declividade, foram submetidos ao modelo proposto e as imagens geradas. Os resultados das áreas da faixa de servidão suscetíveis à ocupação irregular podem ser vistas na Figura 16.

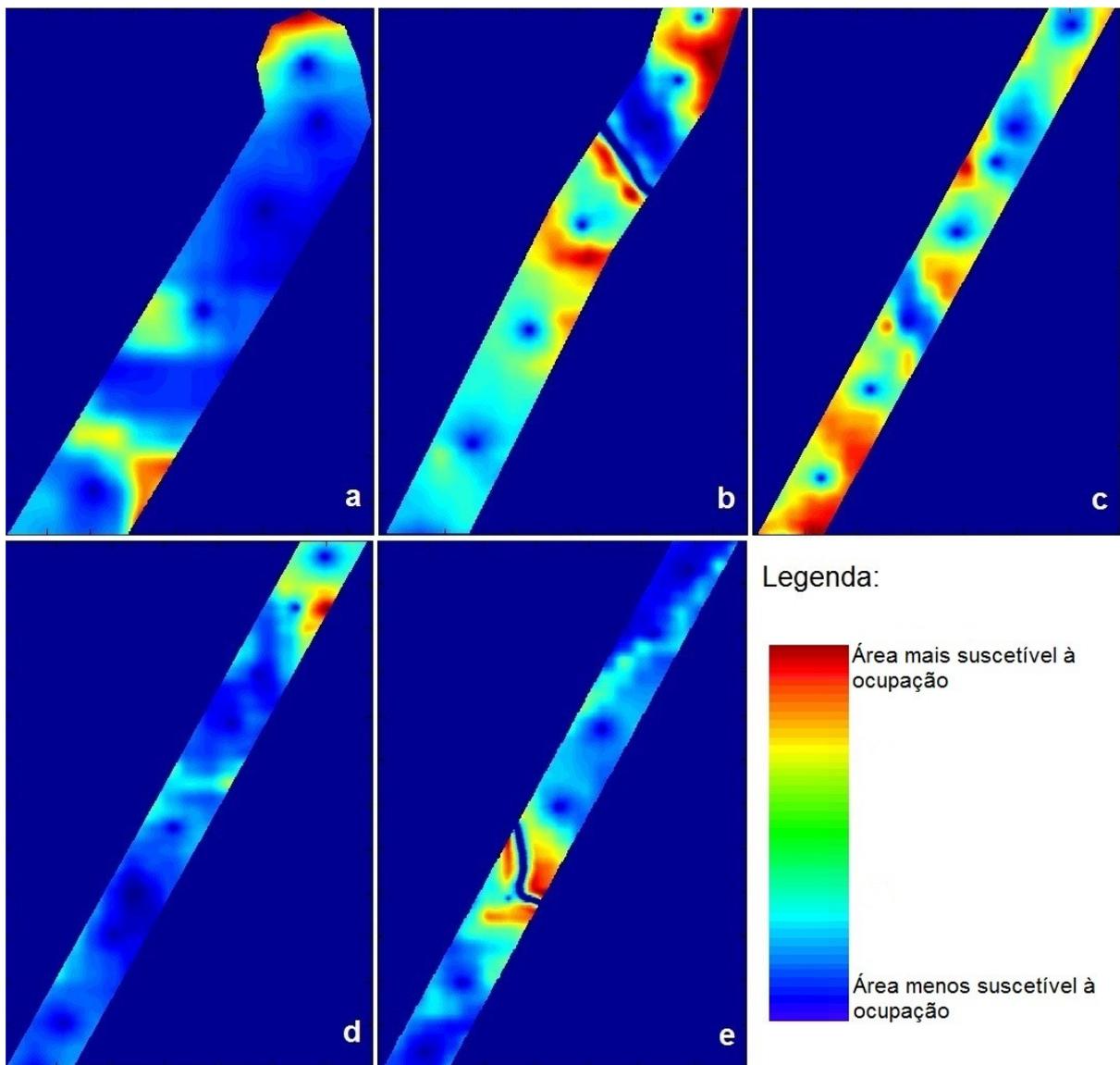


Figura 16. Áreas de Faixa de Servidão suscetíveis à ocupação irregular.

O resultado obtido com o primeiro recorte (Figura 11a) mostra que a área já ocupada pela Chesf (extremo norte) aparece como uma região apta a ser ocupada, como ilustra a Figura 16a. Nesse caso, a área já foi ocupada para instalação da subestação da Chesf. No extremo Sul da imagem aparece outra área mais extensa que apresenta forte aptidão para a ocupação irregular. Observando a Figura 11a, percebe-se que essa área contém uma estrada e está localizada em uma região afastada de torres, o que motiva a ocupação. A região central da Figura 16a apresenta uma área com certa aptidão para a ocupação irregular. Embora essa área seja cercada por duas estradas, o que aumentaria sua aptidão à ocupação,

apresenta duas desvantagens: a presença de vegetação e a proximidade de torres. Todo o restante da área apresenta baixa aptidão ao processo de invasão.

No segundo recorte (Figura 16b), as áreas de maiores aptidões à invasão estão no extremo norte e na porção central. Em ambas as áreas predominam a classe cultivo/pastagem, como mostra a Figura 11b. Somado a isto, existem trechos com solo exposto (ou desmatamento), o que pode ser um atrativo para a invasão, justificando os altos níveis de aptidão para ocupação. Na porção central, as áreas aptas estão divididas em duas faixas: uma à margem esquerda do rio (lado sul do rio), preservando o afastamento das APP, e a outra mais ao Sul, em uma área relativamente plana. A presença de vegetação nessa porção central foi fator determinante na redução da aptidão para ocupações, uma vez que os outros parâmetros contribuem para tal. Nota-se que as áreas próximas à margem direita do rio (lado norte do rio) apresentaram baixa aptidão. Esse fato pode ser explicado pela alta declividade da encosta deste lado do rio. Na margem esquerda do rio, além do cultivo/pastagem e proximidade da água, a baixa declividade proporcionou o destaque apresentado no vale, com forte aptidão ao processo de ocupação.

Diferentemente das duas primeiras áreas-teste, na terceira são visíveis as áreas de maiores aptidões distribuídas ao longo de todo trecho (Figura 16c); com destaque para uma porção localizada no Sul. Um fato interessante no resultado dessa área teste é a baixa aptidão atribuída à área de escarpas, de altas declividades, demonstrando a impossibilidade de ocupação nas mesmas.

A área 4 (Figura 16d), de forma geral, apresentou baixa propensão à ocupação, o que pode ser visto em toda a porção sul, central e em parte do norte. Essa área é fortemente afetada pelas altas declividades, presença de vegetação e poucas estradas. A pequena área apta à ocupação está localizada no norte desse trecho havendo maior aptidão à ocupação na porção mais ao leste dessa porção. Além da declividade, os sombreados (nas escarpas) também influenciaram nos valores de suscetibilidade à ocupação dessa área, reduzindo sua aptidão.

Finalmente, no trecho apresentado na Figura 16e pode ser observado que as áreas de aptidão à ocupação são distribuídas em toda extensão, mas com baixa intensidade, se comparada à área teste 3. Na porção Sul observa-se baixa

tendência à ocupação devida especialmente ao sombreamento existe nesse local (Figura 11e). No extremo Norte e em trechos da porção central também ocorrem baixos níveis de aptidão. Nesses casos, a baixa aptidão é atribuída à presença de vegetação densa nessas áreas. Em ambas as margens do rio ocorrem altos níveis de aptidão. Uma explicação seriam as baixas declividades somadas à presença de solo exposto, pastagens e estradas existentes naquela área. Observa-se que nas proximidades da torre existente nessa área, a aptidão é fortemente reduzida.

O Quadro 5 mostra uma relação quantitativa das áreas aptas à invasão/ocupação irregular em função de intervalos de aptidão obtidos com o modelo proposto.

Quadro 5. Valores das áreas de faixa de servidão suscetíveis à ocupação irregular.

Áreas (m ²)	Intervalo 1 (0.4 - 0.5)	Intervalo 2 (0.5 - 0.6)	Intervalo 3 (0.6 - 0.7)	Intervalo 4 (> 0.7)
Área teste a	25575,00	14262,50	4287,50	1256,25
Área teste b	92075,00	49006,25	28737,50	0,00
Área teste c	241950,00	160662,50	71350,00	11225,00
Área teste d	44606,25	22137,50	9743,75	6081,25
Área teste e	47887,50	36618,75	9668,75	1000,00

O intervalo 1 (0.4 - 0.5) corresponde à cor amarelada, mais próxima do ciano azul, apresentada nas imagens da Figura 16. Os intervalos 2, 3 e 4 são representados, respectivamente, pelas cores: amarelo, vermelho e vermelho mais intenso. Pela definição do modelo proposto, quanto mais próximo de 4 mais apta será a área ao processo de invasão ou ocupação irregular. Dessa forma, o intervalo 1 é menos apto e o 4 é fortemente apto ao processo supracitado.

Exatamente 26% da **área teste c** pertencem ao intervalo 1, o que corresponde a 241950m². É um valor relativamente alto, se comparado aos 4,82% da **área teste d** (44606m²), no mesmo intervalo. No intervalo 2, a área correspondente à **área teste c** ainda é destaque, com 17,27% de sua área total. A menor área nesse intervalo também corresponde à **área teste d**. No intervalo 3, a menor área (0,90%) propícia a invasão/ocupação irregular, pertencendo à **área teste a**, com aproximadamente 4288m². A maior área, nesse mesmo intervalo, ainda

pertence à **área teste c**, com 7,67%, e na sequência está a **área teste b**, com 4,19%.

No intervalo mais crítico (intervalo 4), onde as áreas apontadas merecem atenção/vigilância especial, a área correspondente à **área teste c** ainda é superior, mas com valor mais modesto, de 1,21% de sua área total. A **área teste b** não apresenta nenhuma área com esse risco de invasão. Com 0,66% da sua área total, a **área teste d** está na segunda colocação de prioridade de análise. Por fim, com áreas de 0,26% e 0,11% estão, respectivamente, as **áreas testes a e e**.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na ocorrência de ocupação irregular de faixas de servidão de LT, é comum que o setor responsável pelos serviços da transmissão da LT levante dados referentes ao evento, tais como: a) data da inspeção que constatou a ocupação ou uso irregular ou invasão; b) informações das estruturas adjacentes; c) localização da invasão em relação à faixa de servidão e de segurança; d) relatório fotográfico do local e dos contatos feitos com o responsável pela invasão; e) situação e característica principal da irregularidade ou invasão; f) riscos e perigos potenciais; o que demanda tempo e muito trabalho.

As imagens CBERS-2B/HRC, em conjunto com os dados SRTM, possibilitam a geração de produtos que podem ser úteis para os estudos e gestão da faixa de servidão de LT. Os produtos gerados nesta pesquisa demonstram essa possibilidade, apontando locais suscetíveis à ocupação irregular nas faixas de servidão de LT. Tendo por base a interpretação visual das imagens CBERS-2B/HRC é possível afirmar que os resultados obtidos são coerentes, uma vez que as áreas que apontam aptidão para serem ocupadas irregularmente condizem com a realidade local.

Percebe-se que os valores de área decrescem do intervalo 1 para o intervalo 4, o que pode facilitar o trabalho de fiscalização/monitoramento da faixa de servidão, uma vez que pode ser feito por intervalos, dando prioridade ao mais urgente (intervalo 4).

A grande vantagem do método é a redução do custo do projeto, uma vez que ambos os dados (SRTM, CBERS-2B e CBERS-4) são disponibilizados gratuitamente, o que possibilita a facilidade de atualização e geração de bancos de dados; e que os resultados possibilitam o monitoramento das áreas sujeitas à ocupação em locais específicos, antecipando à ocorrência de invasões, tomando decisões para evitá-las nesses locais.

6.1 Considerações Finais

a) A pesquisa caracterizou de forma abrangente e eficaz a temática de faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica, envolvendo aspectos técnicos, ambientais e de segurança;

b) A pesquisa contextualizou de forma bastante completa o Sensoriamento Remoto relacionando-o com a faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica, envolvendo sistemas sensores e aplicações;

c) A metodologia desenvolvida favorece a observação/fiscalização do quadro de ocupação da faixa de servidão em locais específicos, antecipando a ocorrência de invasões. Outro aspecto é a redução do custo do projeto, uma vez que os dados utilizados são disponibilizados gratuitamente.

d) A pesquisa gerou uma alternativa metodológica de Sensoriamento Remoto eficiente para identificar áreas invadidas ou suscetíveis à ocupação irregular em faixa de servidão de linha de transmissão de energia elétrica.

e) Outra questão a ser destacada é que a metodologia proposta possibilita o uso de dados de sensoriamento remoto de baixa, média e a alta resolução espacial, que deve ser definido de acordo com o nível e o custo da informação desejada do uso e ocupação do solo.

Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam avaliados cenários e áreas de estudo diferentes, contemplando assim novas possibilidades e situações que, eventualmente, não foram contempladas neste estudo, além do uso de outras tecnologias como, por exemplo, o *Laser Scanner* (LIDAR). O LIDAR, apesar de seu uso ter um custo relativamente alto, poderá, nas áreas mais críticas, com relação a ocupações irregulares, trazer informações mais precisas e confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT/NBR-5422 - **Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1985.
- ACHARYA, T.; RAY, A. K. **Image processing, principles and applications**. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. 2005.
- ACKERMANN, F. **Airborne LASER Scanning – present status and future expectations**. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.54, n.2-3, p.64-67, 1999.
- ALMEIDA, M. T.; FUCHS, R. D., **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo. 1982. 360p
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília. 2015. 360 p.
- ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 147f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- ANTUNES, A. F., & CORTESE, S. C. **Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de análise orientada a objeto**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal/RN, pp. 481-487, 2007, Abril 21-26.
- ARCOVERDE, G. F. B.; EPIPHANIO, J. C. N.; MARTINS, V. A.; MAEDA, E. E.; FONSECA, L. M. G. **Mapeamento de cirrus: avaliação de classificações por árvore de decisão**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 62, n. 1, p. 91-102, mar/ 2010.
- BAMLER, R.; EINEDER, M. **The Pyramids of Gizeh seen by TerraSAR-X — A prime example for unexpected scattering mechanisms in SAR**. *IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters*, v.5, p. 468–470. 2008.
- BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. **Multi-resolution, Object-oriented fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS. Ready Information**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 58, p.239-258, 2004.
- BLASCHKE T., LANG S., HAY J. **Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer, 2008. 817p.

BRASIL. **Novo Código Florestal (com alterações introduzidas pela Lei 7.803, de 18 de julho de 1989 que altera a redação da Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nº 6.535, de 15 de junho de 1978 e nº 7.511, de 7 de julho de 1986)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm. Acesso em: 07 outubro de 2014.

BUBNIAK, Mauro José. **Critérios de Projeto e Operação para Linhas de Transmissão em Áreas urbanas: A Experiência da Copel**. In: Encontro Nacional de Invasões de Faixas de Servidão das Linhas de Transmissão. Pernambuco. 2010. p. 1 - 35. CD-ROM. Campbell, J.B. Introduction to Remote Sensing. Nova York: The Guilford Press 2002. 667p.

CCRS. **Canada Centre for Remote Sensing**. Disponível em: www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

CELG, Companhia Energética de Goiás. **“Especificação Técnica para Limitação do Uso de Faixa de Linhas de Subtransmissão e Transmissão da CELG PAR – 69 kV, 138 kV e 230 kV”**. LTP-AA1.039/00, setembro de 2010. Disponível em: <https://www.celg.com.br/arquivos/dadosTecnicos/normasTecnicas/ET-LTP.pdf>. Acessado: 20 de maio de 2014.

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz. **Ocupação de Faixa de Linha de Transmissão**. 28/08/2007. Disponível em: <http://www.cpf.com.br>. Acessado em: 25 de abril de 2014.

CTEEP. Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (Brasil). **Linhas de Transmissão**. 2014. Disponível em: <http://www.cteep.com.br/port/institucional/negocio/linhas.asp>. Acesso em: 20 de nov. 2014.

CTB – Código de Trânsito Brasileiro. **(LEI Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm. Acesso em: 30 de junho de 2013.

CUCCO, J.; OLIVEIRA, F. H.; **Modelo de propensão a ocupações irregulares em linhas de transmissão de energia elétrica**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 30, pp. 107 - 120, 2013.

DAMASCENA, Mário Sérgio de Medeiros. **Normas Técnicas CEMAR: Serviços Topográficos**. Brasil. 2011. 57 p. Disponível em: www.cemarma.com.br/normas/arquivos/et-05.300.00.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2014.

- DEFINIENS DEVELOPER. **Definiens Developer 8 User Guide**. Disponível em <ecognition.cc/download/userguide.pdf > Acesso em 10 de janeiro de 2015.
- DIGITALGLOBE. **QuickBird II: Desing and specifications**. Disponível em: <<http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/QuickBird-DS-QB-PROD.pdf>>. Acesso em 21 de abril de 2015.
- DME, **Transmissão de Energia Elétrica - DME Distribuição - Poços de Calda - MG**, Disponível em: <http://www.dme-pc.com.br/bv_transmissaoenergia.php>. Acesso em 04 de abril de 2014.
- ELEKTRO. **NORMA ND.67, 2013**. Disponível em: <www.cemarwww2.elektro.com.br/novo_site.../documentos_consulta2.asp?id=35> Acesso em: 10 de março. 2015.
- FERNANDES, J. H. M. **Experiência Internacional sobre o Uso e Ocupação de Faixa de Passagem de Linhas aéreas de Transmissão**. In: Encontro Nacional de Invasões de Faixas de Servidão das Linhas de Transmissão. Pernambuco. 2010. p. 1 - 31. CD-ROM.
- FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- GAO, J. **Digital analysis of remotely sensed imagery**. New York, NY, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2009. 439 p.
- GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. A.; KIRCHNER, F. F. e MARCHETTI, M. **LIDAR: Princípios e aplicações florestais**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.30, n.63, p.231-244, 2010.
- GONÇALVES, G. A.; SILVA, C. R.; MITISHITA, E. A. **Comparação dos dados do SRTM com as RNS da rede geodésica altimétrica do IBGE para a região Sul do Brasil**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Anais... IV CBCG. Curitiba, 16-20 maio de 2005.
- GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image processing**. New York: Addison-Wesley, Publishing Company, Inc., 1987.
- HAY, G.J., CASTILLA, G. **Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline**. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G(Eds.), **Object Based Image Analysis**. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, 2008. pp. 93–112.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manuais: tutorial de geoprocessamento**. Spring, 2008.

- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, CBERS**. Disponível em: <<http://www.CBERS.INPE.br/>>. Acesso em 02 de março de 2015.
- IRISH, J. L., LILLYCROP, W. J. **Scanning laser mapping of the coastal zone: the SHOALS system**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v.54, n.2-3, p.123-129. 1999.
- JAIN, A. K. **Fundamentals of digital image processing**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.1989.
- JESEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, Third Edition, 2004.
- JPL, Jet Propulsion Laboratory. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprod.htm>>. Acesso em: 12 de junho.2015.
- KERSTING, A. P. B. **Mapeamento de obstáculos sob a faixa de domínio de linhas de transmissão usando uma abordagem orientada a objeto, tecnologia LIDAR e câmara digital de pequeno formato**. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2006.
- KONG, C. X. **Classification and extraction of urban land-use information from high resolution image based on object multi-features**. Journal of China University of Geosciences.v.17, p. 151-157, 2006.
- KÖRTING, T. S. **Classificação de imagens por regiões**. São José dos Campos, 2006.
- KURTZ, C., et. al. **Extraction of complex patterns from multiresolution remote sensing images: A hierarchical top-down methodology**. Pattern Recognition .v.45, p. 685 – 706. 2012.
- LANG, S. **Object-Based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity**. In: Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Berlim: Springer, 2008. 817p.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 6ª ed., 2008.
- LOHR, U.; Eibert, M. **The TopoSys Laser Scanner-System**. Photogram metrische Woche, Stuttgart, Herbert Wichmann Verlag, Huthig GmbH, p.263-267, 1995.

- MAAS, H. G. **Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data – user requirements and system performance**. Proceedings of 49^o Photogrammetric Week 2003 (Ed. D. Fritsch), Wichmann Verlag, 2003, p.117 - 125, 2003.
- MAUNE, D. F. **Digital Elevation Model Technologies and Applications : The DEM Users Manual**. Bethesda, Md.: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2001. 539 p.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: CNPq, v. 1, p. 256, 2012.
- MOIK, J. G. **Digital processing of remotely sensed images**. Washington DC: Government Printing Office. 1980.
- ONS, Operador Nacional do Setor Elétrico. **“Requisitos Mínimos para Linhas de Transmissão”, Procedimentos de Rede Submódulo**. Operador Nacional de Sistema elétrico 2.4, 2000. Disponível em: <http://www.ons.com.br/download/procedimentos/modulos/Modulo_2/Subm%C3%B3dulo%202.4_Rev_1.1.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2014.
- PACIFICI, F.; CHINI M.; EMERYC W.J. **A neural network approach using multi-scale textural metrics from very high-resolution panchromatic imagery for urban land-use classification**. Remote Sensing of Environment.v.113, p. 1276–1292. 2009.
- PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. P. **Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas**. Revista Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, v.01, n.57, p.53 -62, 2005.
- PINHO, C. M. D. **Análise de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação do uso e cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos-SP**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE. São José dos Campos, 2006. 180p.
- RAPIDEYE – BLACKBRIDGE. Disponível em: <<http://blackbridge.com/rapideye/2015>>. Acesso em: 10 de mar. 2015. blackbridge.com/rapideye/.../RE_Product_Specificat.
- RODRIGUES, L. C. E., POLIZEL, J. L., FERRAZ, S. F. D. B., ZONETE, M. F., FERREIRA, M. Z., **Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil**. Revista Ambiente, v.6, Ed. Especial, p.67-80, 2010.
- SANTOS JR., R. L. **Extração automática de pontos de apoio para integração de imagens aéreas digitais e dados de perfilamento Laser**

aerotransportado. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SHAPIRO, L. G.; STOCKMAN, G. C. **Computer Vision**. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

SILVA, C. R. **Extração de estradas vicinais em imagens digitais e dados LASER Scanner usando abordagens automática e semi -automática**. 139f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

USGS, **UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php>. Acesso em: 09 mar de 2015.

VERBEECK, K.; HERMY, M.; ORSHOVEN, J.V. **External Geo-information in the Segmentation of VHR Imagery Improves the Detection of Imperviousness in Urban Neighborhoods**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. v. 18, p.428–435. 2012.

VIEIRA, M. A.; et. al. **Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas**. Remote Sensing of Environment. v. 123, p.553–562. 2012.

XIANG, S.; CHEN, S.; WU, X.; XIAO, D.; ZHENG, X. **Study on fast linear scanning for a new LASER Scanner, Optics & LASER technology**. v. 42, p. 42-46, 2010.

WEHR, A., LOHR, U. **Airborne laser scanning -an introduction and overview**. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.54, n.23, p.68 - 82,1999.

WOSNY, G. C. **Proposta de base cartográfica para linhas de transmissão de energia elétrica**. 187 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2010.

WUTKE, J. D. **Métodos para Avaliação de um Sistema LASER Scanner Terrestre**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

WUTKE, J. D. ; CENTENO, J. A. S. . **Métodos para avaliação da resolução de sistemas de varredura a LASER**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 13, p. 151-164, 2007.

ZANDONÁ, D. F.; CRISTEL, C.; NAKAJIMA, N. Y. **Varredura a Laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas**. Scientia Forestalis, v.36, n.80, p.295 -306, 2008.

ZHOU, W.; HUANG, G.; TROYC, A.; CADENASSO, M.L. **Object-Based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study**. Remote Sensing of Environment. v. 113, p. 1769–1777. 2009.

ANEXO 1 - CÓDIGO DE ÁGUAS: LEIS e DECRETOS

DECRETO LEI N.º 7.062, DE 22 DE NOVEMBRO DE 1944

Dispõe sobre os bens e instalações utilizadas na produção, transmissão, transformação e distribuição de energia elétrica. (* V. Decreto nº 41.019, de 26.02.57, arts. 63 e 64).

O Presidente da República, usando da atribuição que lhe confere o art. 180 da Constituição,

DECRETA:

Art. 1º Os bens e instalações utilizadas na produção, transmissão e transformação e distribuição de energia hidro ou termoelétrica desde que sujeitos às normas do Código de Águas - Decreto n.º 24.643 de 10 de julho de 1934 - e dos Decretos-Lei n.º 2.281, de 5 de junho de 1940; 3.128, de 19 de março de 1941 e 5.764, de 19 de agosto de 1943, ainda que operadas por empresas preexistentes àquele Código, concorrendo diretamente para aquelas atividades, são vinculadas a esses serviços, não podendo ser desmembradas, vendidas ou cedidas sem prévia e expressa autorização dos poderes competentes, definidos nas leis e regulamentos sobre a matéria.

* V. Decreto n.º 61. 581, de 20.10.67, art. 4º.

Art. 2º Os atos dos Governos Estaduais e Municipais que se proponham a promover a desapropriação desses bens e instalações, na conformidade do Decreto-Lei n.º 3.365, de 21 de junho de 1941, ficam sujeitos à aprovação prévia do Presidente da República, na forma do Decreto-Lei n.º 1.202, de 8 de abril de 1939, e ouvidos o Ministério da Agricultura e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica.

Art. 3º O artigo precedente se aplica às desapropriações em curso, sustentando-se, até à aprovação de que trata o art. 2º, os efeitos dos atos estaduais ou municipais correspondentes.

Art. 4º O presente Decreto-Lei entra em vigor na data da sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Rio de Janeiro, 22 de novembro de 1944, 123º da Independência e 56º da República.

GETÚLIO VARGAS

Apolônio Salles

Alexandre Marcondes Filho

DOU 24.11.44

+++++

DECRETO N.º 35.851, DE 16 DE JULHO DE 1954

Regulamenta o art. 151, alínea c, do Código de Águas (Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934).

O Presidente da República, usando da atribuição que lhe confere o art. 87, inciso I, da Constituição, e atendendo ao disposto no art. 151 alínea c do Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934,

DECRETA:

Art. 1º As concessões para o aproveitamento industrial das quedas d'água, ou, de modo geral, para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, conferem aos seus titulares o direito de constituir as servidões administrativas permanentes ou temporárias, exigidas para o estabelecimento das respectivas linhas de transmissão e de distribuição.

* V. art. 4º.

Art. 2º A constituição da servidão a que se refere o artigo anterior, depende da expedição, pelo Poder Executivo, de Decreto em que, para esse efeito, se reconheça a conveniência de estabelecê-la e se declarem de utilidade pública as áreas destinadas à passagem da linha.

§ 1º Para a fixação das áreas sujeitas ao ônus da servidão, a administração terá em vista, entre outros característicos, a tensão da linha, o número de circuitos e o tipo da construção.

§ 2º A servidão compreende o direito, atribuído ao concessionário, de praticar, na área por ela abrangida, todos os atos de construção, manutenção, conservação e inspeção das linhas de transmissão de energia elétrica e das linhas telegráficas e telefônicas auxiliares, sendo-lhe assegurado ainda o acesso à área da servidão, através do prédio serviente, desde que não haja outra via praticável.

Art. 3º Os proprietários das áreas atingidas pelo ônus limitarão o uso e gozo das mesmas ao que for compatível com a existência da servidão, abstenendo-se, em consequência, de praticar, dentro delas, quaisquer atos que a embarquem ou lhe causem dano, incluídos entre eles os de erguerem construções ou fazerem plantações de elevado porte.

§ 1º A administração, ao expedir o decreto de servidão, poderá vedar que tais construções ou plantações se façam em uma faixa paralela à área da servidão, estabelecendo-lhe os respectivos limites.

§ 2º Aos concessionários é assegurado o direito de mandar podar ou cortar quaisquer árvores, que, dentro da área da servidão ou na faixa paralela à mesma, ameaçam as linhas da transmissão ou distribuição.

Art. 4º Uma vez expedido o decreto de que trata o art. 1º, a constituição da servidão se realizará mediante escritura pública, em que o concessionário e os proprietários interessados estipulem, nos termos do mesmo decreto, a extensão, o limite do ônus e os direitos e obrigações de ambas as partes.

Art. 5º Os proprietários das áreas sujeitas à servidão têm direito à indenização correspondente à justa reparação dos prejuízos a eles causados pelo uso público das mesmas e pelas restrições estabelecidas ao seu gozo.

Art. 6º Os concessionários poderão promover, no caso de embaraço oposto pelos proprietários, a constituição da servidão, ou ao respectivo exercício, as medidas judiciais necessárias ao seu reconhecimento, cabendo-lhes também a

faculdade de utilizar-se do processo de desapropriação, nos termos do art. 40 do Decreto-Lei n.º 3.365, de 21 de junho de 1941.

Art. 7º Revogam-se as disposições em contrário.

Rio de Janeiro, 16 de julho de 1954; 133º da Independência e 66º da República.

GETÚLIO VARGAS

Apolônio Salles

DOU 19.07.54.

+++++

DECRETO N.º 84.398, DE 16 DE JANEIRO DE 1980

Dispõe sobre a ocupação de faixas de domínio de rodovias e de terrenos de domínio público e a travessia de hidrovias, rodovias e ferrovias por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica e dá outras providências.

V. Decreto n.º 24.643, de 10-07-34, art. 151, letra a.

V. Decreto n.º 41.019, de 26.02.57, art. 108, letra a.

V. Decreto n.º 86.859, de 19.01.82.

O Presidente da República, no uso da atribuição que lhe confere o art. 81, item III, da Constituição, e tendo em vista o disposto na alínea a, do art. 151 do Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934 (Código de Águas),

DECRETA:

“Art. 1º A ocupação de faixas de domínio de rodovias, ferrovias e de terrenos de domínio público, e a travessia de hidrovias, rodovias, ferrovias, oleodutos e linhas de transmissão de energia elétrica de outros concessionários, por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica de concessionários de serviços públicos de energia elétrica, serão autorizados pelo órgão público

federal, estadual ou municipal ou entidade competente, sob cuja jurisdição estiver a área a ser ocupada ou atravessada.

Parágrafo único. Para os fins do disposto neste artigo, será considerada entidade competente a pessoa física ou jurídica que, em razão de concessão, autorização ou permissão, for titular dos direitos relativos à via de transporte, duto ou linha a ser atravessada, ou a ter a respectiva faixa de domínio ocupada.”

* Redação dada pelo Decreto n.º 86.859, de 19.01.82.

Art. 2º Atendidas as exigências legais e regulamentares referentes aos respectivos projetos, as autorizações serão por prazo indeterminado e sem ônus para os concessionários de serviços públicos de energia elétrica.

Art. 3º O órgão público ou entidade competente deverá manifestar-se sobre os projetos, concedendo autorização formal para execução da obra, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, contados da data de seu recebimento, restringindo-se, na apreciação, ao trecho de ocupação ou travessia da área sob sua jurisdição.

§ 1º Em caso de solicitação de esclarecimentos adicionais ou exigências regulamentares ao concessionário, o órgão público ou administração competente terá novo prazo, improrrogável, de 30 (trinta) dias, contados a partir do recebimento dos esclarecimentos ou da satisfação das exigências regulamentares, para pronunciamento final.

“§ 2º A não manifestação do órgão ou entidade competente, nos prazos previstos neste artigo, implicará na outorga tácita da autorização pretendida, para execução da obra.”

* Redação dada pelo Decreto n.º 86.859, de 19-01-82.

Art. 4º Na execução das obras de que trata este Decreto, os trabalhos de assentamento, modificação ou conservação das linhas não poderão interromper o tráfego, salvo com prévia autorização do órgão público ou entidade competente.

Art. 5º Caberá ao concessionário de serviços públicos de energia elétrica:

I - Manter e conservar as linhas de sua propriedade de que trata este Decreto.

II - Custear o reparo dos danos causados à via de transporte em decorrência de obras de implantação, reforma ou ampliação de linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica de sua propriedade.

III - Custear as modificações de linhas cujos suportes estejam implantados em faixas de domínio de rodovia, ferrovia e hidrovía, ressalvado o disposto no item I do art. 6º.

IV - Ressarcir quaisquer danos causados a instalações e benfeitorias das entidades a que se refere este Decreto, em caso de ocupação de terrenos de domínio público ou faixas de domínio.

Art. 6º Caberá ao órgão público ou entidade competente:

I - Custear as modificações de linhas já existentes, sempre que estas se tornem exigíveis em decorrência da extensão, duplicação e implantação de nova rodovia, ferrovia ou hidrovía.

II - Custear o reparo dos danos causados à linha de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica que tenha sido afetada por outras de sua responsabilidade.

III - Permitir livre acesso às suas dependências de empregados ou prepostos dos concessionários para inspeção das travessias e execução de serviços com os mesmos relacionados, ressalvado o direito de exigir a substituição dos que considerar impróprios ou inconvenientes a qualquer título.

Art. 7º Este Decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 16 de janeiro de 1980; 159º da Independência e 92º da República.

JOÃO FIGUEIREDO

Eliseu Resende

César Cals Filho

+++++

DECRETO N° 86.859, DE 19 DE JANEIRO DE 1982

Altera o Decreto n° 84.398, de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a ocupação de faixas de domínio de vias de transporte e de terrenos de domínio público e a travessia de vias de transporte, por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica.

O Presidente da República, no uso da atribuição que lhe confere o art. 81, item III, da Constituição,

DECRETA:

Art. 1° O art. 1° e o § 2° do art. 3° do Decreto n.º 84.398, de 16 de janeiro de 1980, passam a vigorar com a seguinte redação, acrescido o art. 1° de parágrafo único:

“Art. 1° A ocupação de faixas de domínio de rodovias, ferrovias e de terrenos de domínio público, e a travessia de hidrovias, rodovias, ferrovias, oleodutos e linhas de transmissão de energia elétrica de outros concessionárias, por linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição de energia elétrica de concessionários de serviços públicos de energia elétrica, serão autorizadas pelo órgão público federal, estadual ou municipal ou entidade competente, sob cuja jurisdição estiver a área a ser ocupada ou atravessada.

Parágrafo único. Para os fins do disposto neste artigo, será considerado entidade competente a pessoa física ou jurídica que, em razão de concessão, autorização ou permissão, for titular dos direitos relativos à via de transporte, duto ou linha a ser atravessada, ou a ter a respectiva faixa de domínio ocupada.” “Art. 3° § 2° A não manifestação do órgão ou entidade competente, nos prazos previstos neste artigo, implicará na outorga tácita da autorização pretendida, para execução da obra.”

Art. 2° Este Decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 19 de janeiro de 1982; 161° da Independência e 94° da República.

JOÃO FIGUEIREDO

César Cals

Hélio Beltrão

+++++

DECRETO N.º 90.378, DE 29 DE OUTUBRO DE 1984

Delega competência ao Ministro de Estado das Minas e Energia para a prática do ato que menciona.

O Presidente da República, usando da atribuição que lhe confere o art. 81, item III, da Constituição, tendo em vista o art. 2º do Decreto n.º 35.851, de 16 de junho de 1954, o art. 12 do Decreto-Lei n.º 200, de 25 de fevereiro de 1967, o instituído pelo Decreto n.º 88.740, de 18 de julho de 1979, e o que consta do Processo n.º MME 703.401/83,

DECRETA:

Art. 1º É delegada competência ao Ministro de Estado das Minas e Energia para declarar de utilidade pública, para fins de constituição de servidão administrativa, as áreas destinadas à passagem de linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, de que trata o Decreto nº 35.851, de 16 de julho de 1954.

Art. 2º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 29 de outubro de 1984; 163º da Independência e 96º da República.

JOÃO FIGUEIREDO

César Cals Filho

+++++

LEI N.º 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995 - DOU 14.02.95

Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.

Art. 29. Incumbe ao poder concedente:

I - regulamentar o serviço concedido e fiscalizar permanentemente a sua prestação;

II - aplicar as penalidades regulamentares e contratuais;

III - intervir na prestação do serviço, nos casos e condições previstos em lei;

IV - extinguir a concessão, nos casos previstos nesta Lei e na forma prevista no contrato;

V - homologar reajustes e proceder à revisão das tarifas na forma desta Lei, das normas pertinentes e do contrato;

VI - cumprir e fazer cumprir as disposições regulamentares do serviço e as cláusulas contratuais da concessão;

VII - zelar pela boa qualidade do serviço, receber, apurar e solucionar queixas e reclamações dos usuários, que serão cientificados, em até trinta dias, das providências tomadas;

VIII - declarar de utilidade pública os bens necessários à execução do serviço ou obra pública, promovendo as desapropriações, diretamente ou mediante outorga de poderes à concessionária, caso em que será desta a responsabilidade pelas indenizações cabíveis;

IX - declarar de necessidade ou utilidade pública, para fins de instituição de servidão administrativa, os bens necessários à execução de serviço ou obra pública, promovendo-a diretamente ou mediante outorga de poderes à concessionária, caso em que será desta a responsabilidade pelas indenizações cabíveis;

X - estimular o aumento da qualidade, produtividade, preservação do meio ambiente e conservação;

XI - incentivar a competitividade; e

XII - estimular a formação de associações de usuários para defesa de interesses relativos ao serviço.

Art. 31. Incumbe à concessionária:

I - prestar serviço adequado, na forma prevista nesta Lei, nas normas técnicas aplicáveis e no contrato;

II - manter em dia o inventário e o registro dos bens vinculados à concessão;

III - prestar contas da gestão do serviço ao poder concedente e aos usuários, nos termos definidos no contrato;

IV - cumprir e fazer cumprir as normas do serviço e as cláusulas contratuais da concessão;

V - permitir aos encarregados da fiscalização livre acesso, em qualquer época, às obras, aos equipamentos e às instalações integrantes do serviço, bem como a seus registros contábeis;

VI - promover as desapropriações e constituir servidões autorizadas pelo poder concedente, conforme previsto no edital e no contrato;

VII - zelar pela integridade dos bens vinculados à prestação do serviço, bem como segurá-los adequadamente; e

VIII - captar, aplicar e gerir os recursos financeiros necessários à prestação do serviço. Parágrafo único. As contratações, inclusive de mão-de-obra, feitas pela concessionária serão regidas pelas disposições de direito privado e pela legislação trabalhista, não se estabelecendo qualquer relação entre os terceiros contratados pela concessionária e o poder concedente.

Art. 35. Extingue-se a concessão por:

I - advento do termo contratual;

II - encampação;

III - caducidade;

IV - rescisão;

V - anulação; e

VI - falência ou extinção da empresa concessionária e falecimento ou incapacidade do titular, no caso de empresa individual.

§ 1º Extinta a concessão, retornam ao poder concedente todos os bens reversíveis, direitos e privilégios transferidos ao concessionário conforme previsto no edital e estabelecido no contrato.

§ 2º Extinta a concessão, haverá a imediata assunção do serviço pelo poder concedente, procedendo-se aos levantamentos, avaliações e liquidações necessários.

§ 3º A assunção do serviço autoriza a ocupação das instalações e a utilização, pelo poder concedente, de todos os bens reversíveis.

§ 4º Nos casos previstos nos incisos I e II deste artigo, o poder concedente, antecipando-se à extinção da concessão, procederá aos levantamentos e avaliações necessários à determinação dos montantes da indenização que será devida à concessionária, na forma dos arts. 36 e 37 desta Lei.

Art. 9º A tarifa do serviço público concedido será fixada pelo preço da proposta vencedora da licitação e preservada pelas regras de revisão previstas nesta Lei, no edital e no contrato.

§ 1º A tarifa não será subordinada à legislação específica anterior.

§ 2º Os contratos poderão prever mecanismos de revisão das tarifas, a fim de manter-se o equilíbrio econômico-financeiro.

§ 3º Ressalvados os impostos sobre a renda, a criação, alteração ou extinção de quaisquer tributos ou encargos legais, após a apresentação da proposta, quando comprovado seu impacto, implicará a revisão da tarifa, para mais ou para menos, conforme o caso.

§ 4º Em havendo alteração unilateral do contrato que afete o seu inicial equilíbrio econômico-financeiro, o poder concedente deverá restabelecê-lo, concomitantemente à alteração.

+++++

LEI Nº 9.074, DE 7 DE JULHO DE 1995

Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.

Art. 10. Cabe ao poder concedente declarar a utilidade pública para fins de desapropriação ou instituição de servidão administrativa, das áreas necessárias à implantação de instalações concedidas, destinadas a serviços públicos de energia elétrica, autoprodutor e produtor independente.

+++++

LEI N.º 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996 - DOU 27.12.96

Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

Art. 14. O regime econômico e financeiro da concessão de serviço público de energia elétrica, conforme estabelecido no respectivo contrato, compreende:

I - a contraprestação pela execução do serviço, paga pelo consumidor final com tarifas baseadas no serviço pelo preço, nos termos da Lei n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995;

II - a responsabilidade da concessionária em realizar investimentos em obras e instalações que reverterão à União na extinção do contrato, garantida a indenização nos casos e condições previstos na Lei n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e nesta Lei, de modo a assegurar a qualidade do serviço de energia elétrica;

III - a participação do consumidor no capital da concessionária, mediante contribuição financeira para execução de obras de interesse mútuo, conforme definido em regulamento;

IV - apropriação de ganhos de eficiência empresarial e da competitividade;

V - indisponibilidade, pela concessionária, salvo disposição contratual, dos bens considerados reversíveis.

Art. 18. A ANEEL somente aceitará como bens reversíveis da concessionária ou permissionária do serviço público de energia elétrica aqueles utilizados, exclusiva e permanentemente, para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica.