

## INTRODUÇÃO

No Brasil [2], dentre as fontes primárias e secundárias de energia a fonte hidráulica é a que mais contribui para produção de energia elétrica (73,1%). Como os locais produtores estão situados quase sempre em regiões distantes dos centros consumidores (Leão, 2009), são necessárias grandes extensões de linhas de transmissão e instalações para repartir e distribuir a energia nos centros de consumo.

Por outro lado, em seu trajeto até os centros consumidores, as linhas de transmissão (LT) atravessam lugares de difícil acesso, devido, por exemplo, à topografia ou à cobertura vegetal. Esta característica impõe complicações à manutenção e inspeção de linhas situadas em tais localidades. Por outro lado, o avanço da tecnologia de sensoriamento remoto e o aumento da disponibilidade e da resolução das imagens podem tornar o sensoriamento remoto uma alternativa viável em locais de difícil acesso. Para isso, são necessários estudos que permitam monitorar as condições de estado dos componentes das LT a partir de imagens de sensores remotos, possibilitando a adoção de medidas preventivas no sentido de sua substituição antes da ocorrência de falhas. Este monitoramento possibilitará a detecção de obstrução nas linhas de transmissão, o que acarretará economia de esforços e otimização quanto às equipes de manutenção e análise das mesmas.

Vários autores têm proposto metodologias para um bom monitoramento das LT e/ou técnicas que proponham análises similares, como detecção de rodovias e estradas. Os objetivos destes monitoramentos também são variáveis, há aqueles que desejam monitorar deste as linhas de transmissão entre torres de transmissão, para prever atos de vandalismo até aqueles que monitoram toda a faixa de servidão das linhas de transmissão.

No trabalho de Rangel e outros, 2009[38], é proposto uma inspeção das LT por veículo aéreo não tripulado, que voa a baixa altitude. Este veículo é controlado por uma estação portátil, o qual captura imagens de vídeo através de câmeras embarcadas, que são gerenciadas em tempo real. Há propostas similares (Weischedel, 1985), onde as imagens são capturadas através de uma câmera térmica, buscando futuros pontos de ruptura potencializados pelo aumento da resistência elétrica da linha, que resulta no aumento da temperatura pontual. Outros trabalhos também propõem monitoramento em tempo real (Claro et al) [39], onde também são colocadas câmeras nas Torres de transmissão, controlando a faixa de servidão das LT. As imagens são transportadas por sistema de comunicação sem fio, trabalhando conjuntamente a um transmissor meteorológico, onde tais dados farão parte de um banco de

dados climatológicos fornecendo subsídios para estudos de redimensionamento das LT, através de um software de monitoramento.

Yan [36] analisa as propriedades das LT e apresenta um algoritmo para a extração das LT de imagens aéreas extraídas de uma câmera digital acoplado a um helicóptero, usando Transformada de Radon para extrair os segmentos de linhas, utilizando um método de agrupamento para fazer um link entre segmentos, aplicando finalmente o filtro de Kalman para conectar os segmentos.

Há aqueles (Oliveira et al) [41] que fazem todo o monitoramento da faixa de servidão das LT, utilizando SIG e Sensoriamento Remoto, trabalhando com imagens de alta resolução. Este monitoramento envolve Processamento Digital de Imagens (PDI) com convolução (filtragem) para detecção de bordas e classificação supervisionada e não supervisionada, onde se obtém classes ou temas de uso da ocupação do solo ou vegetação exposta, para geração de mapa temático referente à faixa de servidão. São gerados banco de dados para monitoramento ambiental da área, os quais são georreferenciados através de localizador GPS. A proposta de monitoramento das LT sugerida pela CPqD Tecnologia [42], também utiliza SIG, mas com monitoramento remoto com visibilidade em SIG, um sistema a ser instalado em uma torre composta de sensores e câmeras para monitoração das condições de operações das LT. Eles visam fazer este monitoramento obtendo uma visão espacial da disposição das torres e subestações, do terreno onde estão as LT.

É possível encontrar na literatura (Mohammadzadeh et al, 2006) [44], extração de linhas centrais das rodovias, através de lógica fuzzy aliada a Morfologia Matemática, em imagens rurais, urbanas e semi-urbanas, o qual trabalha com imagens de satélites de alta resolução. Nesta metodologia um dos três pixels arbitrários é selecionado manualmente da superfície da rodovia, para entrada no sistema de lógica fuzzy, o qual apresenta valor inicial de 8-bit de imagem IKONOS. As operações de morfologia matemática utilizam operações triviais opening (abertura) O trabalho de Dell'Acqua [45], 2001 também trabalha com imagens aéreas sintéticas de radar (SAR), onde inicialmente são detectadas as bordas para posteriormente se extrair as características básicas, como vegetação e construções, baseada em clusterização fuzzy, e aplicação de algoritmos específicos.

No trabalho de Katartzis[43], observamos a extração de feições lineares aplicando morfologia matemática em imagens aéreas e Markov Random Field (MRF), para identificação de rodovias.

Podemos ainda citar o trabalho de Duta [45] onde é realizado um pré-processamento com melhora de contraste, com limiarização fixa e o trabalho de Aggarwal [24] o qual utiliza

basicamente a Transformada de Hough, com algumas regularizações para melhorar o desempenho.

As metodologias para monitoramento de LT e/ou detecção de rodovias ou estradas são variadas e as técnicas utilizadas e o fim a que se destinam também são distintos. Neste contexto, a presente dissertação se ocupa da automação da detecção dos cabos das linhas de transmissão em imagens aéreas, imagens estas que apresentam os espectros visíveis, RGB. Se por um lado trabalhar com imagens em RGB, de baixa resolução, representa uma limitação, por outro lado conseguir um resultado eficiente com este tipo de imagens possibilitará soluções práticas a um baixo custo, tendo em vista que hoje as imagens de alta resolução apresentam um custo bem elevado.

Sendo assim, nesta dissertação é proposta uma metodologia capaz de tratar as etapas da extração de linhas, com técnicas comumente usadas, de forma a facilitar a análise para extração das LT.

A Figura 1 apresenta as etapas utilizadas para a solução deste problema.



**Figura 1.1 - Diagrama de Blocos com a visão geral da Metodologia**

Conforme apresentado na Figura 1, o processo se inicia com o realce de imagem, em seguida é aplicado um método de detecção de bordas e finalmente é aplicado um método de extração de linhas.

## 1 MOTIVAÇÃO

A energia elétrica apresenta grande relevância na sociedade moderna. Ela tem contribuído grandemente para o desenvolvimento econômico da era moderna. A economia tem se tornado grandemente dependente dela, a qualidade de vida da população e os serviços por ela prestados são exemplos dessa dependência.

Leão (2009) cita, “A energia elétrica proporciona à sociedade trabalho, produtividade e desenvolvimento, e aos seus cidadãos conforto, comodidade, bem-estar e praticidade, o que torna a sociedade moderna cada vez mais dependente de seu fornecimento e mais suscetível às falhas do sistema elétrico”. Este é o quadro em que se encontra nossa sociedade hoje.

O sistema elétrico tem crescido grandemente, tal qual o desenvolvimento de nossa sociedade, sendo assim, necessita de estrutura que dê base a esse crescimento. É ideal que haja uma infra-estrutura tal que possibilite que a geração, distribuição e administração de todo o sistema elétrico funcione da melhor forma possível.

Em conseqüência, podemos aplicar ao setor de energia elétrica, novas tecnologias, a fim de possibilitar um monitoramento de todo ou parte do Sistema Elétrico; como as linhas de transmissão, centro do nosso trabalho. O crescimento de técnicas de geoprocessamento tem proporcionado novas formas de monitorar as LT.

É neste contexto que se situa esta dissertação, aliando geoprocessamento, ao monitoramento das LT, isto é, utilizando técnicas de contraste para realce, detecção de bordas e extração das linhas de transmissão em imagens de sensoriamento remoto.

Sabe-se também que, ainda há muito a se avançar em pesquisas, para se fazer um monitoramento realmente eficiente, isto é, que atenda a uma demanda real do controle das LT em território nacional, sem contar a dificuldade em se encontrar tais linhas em uma imagem de satélite, as quais se mostram extremamente finas. Tais dificuldades são motivadoras e desafiantes, pois levam a questionamentos e futuramente a soluções eficientes, que atendam as necessidades de nosso país.

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho visa realizar inspeções preditivas, visando à detecção de não conformidades dos componentes de Linhas de transmissão, evitando assim a ocorrência de falhas. Isto é feito de forma a avaliar as técnicas trabalhadas para uma conseqüente extração das linhas de transmissão, com imagens aéreas oriundas de sensoriamento remoto.

Dentro da metodologia, várias técnicas foram propostas: a utilização de filtros, como o filtro Canny, um dos mais utilizados na literatura; utilização experimental da técnica de detecção de bordas SUSAN; uma abordagem prática através de morfologia matemática e a Transformada de Hough (TH) muito utilizada para extração de linhas. A combinação destas técnicas é o enfoque principal do trabalho, exigindo uma atenção especial nesta parte do trabalho.

Neste íterim, o trabalho proposto possibilita também verificar a contribuição de cada técnica à classificação das linhas de transmissão, com o possível uso na discriminação e mapeamento das linhas de transmissão na cobertura terrestre, além de comparações entre os métodos de segmentação, com diferentes abordagens.

Há também objetivos secundários que fazem parte desta dissertação. A adequação das imagens utilizadas, para o tipo de técnica utilizada, no caso imagens aérea, bem como os tipos de bandas utilizadas nas análises - RGB, também fazem parte da avaliação deste trabalho, bem como a redução nos altos custos, provenientes de ocorrência de falhas nos equipamentos, estações e materiais do Sistema de Transmissão.

Sabe-se que a interpretação das imagens de satélite é uma tarefa que exige que o foto intérprete tenha, além de bastante experiência na classificação de imagens, um conhecimento de campo bastante amplo. Com o objetivo de facilitar o trabalho deste profissional e dar um passo para a automatização deste processo é que esta dissertação efetua uma análise de diferentes técnicas, de forma a melhorar o desempenho para este tipo de classificação, pois a própria literatura menciona ser um dos tópicos ou o tópico mais difícil em PDI. No caso desta dissertação, todo trabalho de comparação e análise é realizada com imagens reais, o que requer uma atenção especial, e o tratamento digital é realizado na ferramenta computacional MATLAB.

## 1.2 Descrição do Trabalho

Esta dissertação desdobra-se em cinco capítulos. No capítulo 2 é dada uma visão geral do trabalho de forma a contextualizar quanto à estrutura desta dissertação, bem como detalhar a **Metodologia** utilizada. No capítulo 3, apresentamos os **Fundamentos Básicos**, isto é, o aprofundamento teórico a tudo o que é abordado, e a base para as conclusões finais, abrangendo noções de detecção de bordas, citando filtro Canny e Detector Susan e extração de linhas, com abordagem em Transformada de Hough (TH), Transformada de Radon (TR), e Morfologia Matemática (MM). No capítulo 4 são descritos os **Experimentos** realizados, isto é, todo o tratamento realizado com as imagens, a fim de extrair as linhas de transmissão, por Transformada de Hough. No capítulo 5, em forma de tabelas estão destacados todos os **Resultados**, com seus respectivos comentários. No capítulo 6 são, apresentadas as **Conclusões**, considerações finais e trabalhos futuros relacionados a esta dissertação.

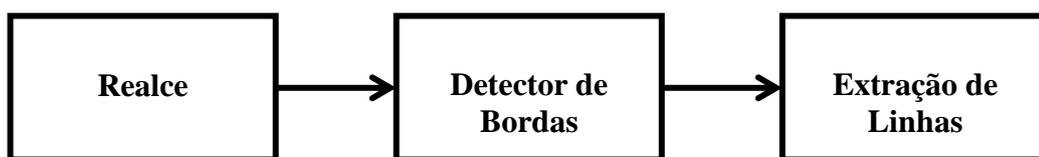
## 2. METODOLOGIA

O diagrama de blocos é a melhor maneira de se compreender tudo o que estará sendo abordado nesta dissertação, devido a isto, ele será mostrado todas as vezes que se fizer necessário. As referências citados no capítulo anterior nos dão um bom direcionamento quanto a várias técnicas utilizadas e as que apresentam uma boa resposta para os tipos de problemas propostos.

Sendo assim, é proposta uma metodologia capaz de tratar todas as etapas da extração de linhas, comumente usadas, de forma a facilitar a análise da extração das linhas de transmissão. As técnicas aqui discutidas são de Domínio espacial, requerendo um conhecimento das estruturas contidas na imagem.

Oliveira et al [41] utilizou o SIG para detecção de bordas e segmentação, demonstrando uma relação estreita com este trabalho, que visa trabalhar com imagens de SIG de sensoriamento remoto para extração de linhas de transmissão em imagens aéreas com bandas no espectro visível - RGB.

Com uma abordagem própria pode-se observar a estrutura de análise através da Figura 2.1.



**Figura 2.1 - Visão geral da Metodologia**

Conforme apresentado na Figura 2.1, a seguir será detalhada cada etapa deste diagrama de blocos que se inicia com o realce de imagem, aplicando métodos de detecção de bordas aplicando posteriormente técnicas para extração das LT.

## 2.1. Realce



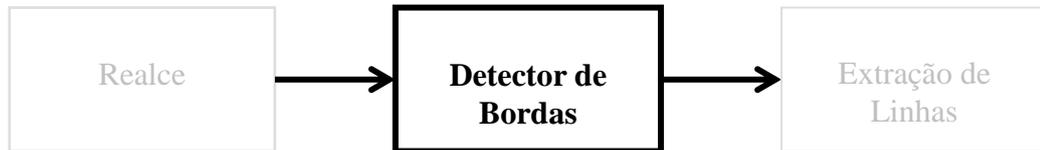
**Figura 2.2 - Diagrama de Blocos ressaltando Realce**

Tendo em vista que os alvos devem ser distinguíveis, ele deve contrastar com outros alvos em torno da imagem, é isto o que será realizado nesta etapa do pré-processamento: ressaltar as linhas de transmissão, da melhor forma possível, do restante da imagem, para melhor visualização e processamento de dados. Isto é, através de algoritmo próprio, possibilitar melhor identificação das estruturas contidas na imagem realçando os contornos.

O fator que irá influenciar na escolha de algoritmo de realce será a complexidade do algoritmo a ser utilizado [45]. A técnica a ser escolhida dependerá de qual aspecto da imagem original será melhorado.

Em Mohammadzadeh et al [44] e, Katartzis [43], as técnicas de pré-processamento utilizadas tiveram como base a morfologia matemática e Duta [45] realizou um pré-processamento com melhora de contraste, com limiarização fixa. Nesta dissertação foram utilizadas técnicas de realce tendo como base a morfologia matemática, com dois enfoques:

## 2.2. Detecção de Bordas



**Figura 2.3 - Diagrama de Blocos ressaltando Detector de Bordas**

Mudanças ou descontinuidades nos atributos da amplitude de uma imagem, tal qual luminância, são características primitivas fundamentalmente importantes, pois são freqüentemente indicações de amplitude de um objeto dentro de uma imagem, Gonzalez [3].

A detecção de bordas para futura extração de linhas e/ou estruturas é uma técnica muito utilizada por vários algoritmos já existentes. Dell'Acqua [45] em seu trabalho utilizou extração de bordas para detectar estruturas urbanas.

A maioria dos detectores de linha separa a detecção de borda do agrupamento do contorno, executado eventualmente em uma segunda etapa. Nevatia e Babu [16] fazem primeiramente a convolução na imagem com uma máscara de detecção de bordas.

Neste trabalho serão utilizadas três técnicas para este fim:

- Utilização de detector de bordas, com filtro Canny → A detecção de bordas com este filtro apresentou um bom detalhamento das estruturas contidas na imagem. A sua escolha será justificada no item 4.6.
- O Detector de Bordas SUSAN → Este detector foi utilizado por ser uma nova técnica para detecção, representa uma nova abordagem.
- Filtragem Morfológica → Nesta abordagem o tratamento na imagem é feito por operações morfológicas. Esta abordagem diferencia das demais técnicas, porque a morfologia realiza suas operações considerando principalmente a forma das estruturas representadas na imagem, sendo as noções de conjunto e operações lógicas um requisito fundamental para o bom entendimento desta abordagem.

O realce da imagem foi realizado através de operações morfológicas, envolvendo dilatação, erosão, além de operações de soma e subtração.

- Detector Morfológico de Bordas Externas. → A utilização de técnicas de morfologia matemática foi citada anteriormente e referenciada por alguns autores como Mohammadzadeh et al [44] e Katartzis [43]. A imagem oriunda de pré-processamento será encaminhada a detecção inicial das bordas com operadores morfológicos, chamado de detector de bordas externas, onde são realizadas operações morfológicas de adição, subtração, abertura e fechamento.

### 2.3. Extração de Linhas



**Figura 2.4 - Diagrama de Blocos ressaltando Extração de Linhas**

Normalmente para extração de linhas são utilizadas máscaras orientadas em determinadas direções, ou se utiliza um algoritmo que faça uma varredura em todas as direções, a fim de se encontrar possíveis retas. Quando se deseja encontrar linhas em uma imagem, em uma direção definida por uma dada máscara, normalmente passa-se uma máscara através da imagem e usa-se o valor absoluto do threshold do resultado, o qual determinará a sensibilidade para a detecção da borda. Os pontos que estão de determinado lado são resposta fortes, o qual para um pixel espesso corresponde fechado para a direção definida em uma máscara. Após tal procedimento se detectam possíveis retas através de algoritmos próprios, normalmente com a utilização de Transformadas e acumuladores, mas tais procedimentos serão explicados futuramente.

Aggarwal [24] utiliza a Transformada de Hough para encontrar linhas em uma imagem e Yan [36] utiliza basicamente Transformada de Radon para este fim.

A Transformada de Hough é a técnica mais utilizada para a extração de linhas, e como o objetivo principal deste trabalho é a extração de linhas de transmissão, optou-se por uma técnica mais própria para este fim. Sua implementação será realizada basicamente por duas formas:

- Utilização da Transformada Hough →. A Transformada de Hough é resumidamente uma técnica para reconhecimento, em imagens computacionais, de forma que sejam facilmente parametrizadas, ou seja, que possua uma equação com fórmula conhecida, tais como retas, círculos e elipses, entre outras, de uma equação, reconhecendo o ponto inicial e final de um segmento de linha [20]. Esta Transformada é aplicada em imagens após a detecção prévia de bordas da imagem.

- Utilização da Transformada de Hough Alternativo, com Transformada de Radon →  
Calcula-se a TH através da TR. A TR computa as projeções de uma matriz ao longo de direções específicas. A projeção de duas dimensões é uma integral de linha. A TR calcula a integral de linha de múltiplas direções ao longo de caminhos paralelos ou vigas em certas direções. A TR pega múltiplas projeções de vigas paralelas de uma imagem de diferentes ângulos e rotações, de fontes centradas em volta do centro da imagem. Tais parâmetros são dados da TR que estão intimamente ligados a TH, daí se utilizar a TR e TH conjuntamente. Estes dados farão parte de acumuladores. Os valores máximos são candidatos aos parâmetros da linha.  
A localização dos pontos máximos (picos) corresponde à localização das linhas retas. Os valores de limiarização aumentam a sensibilidade da extração de linhas.  
Os fundamentos básicos são iguais a TH. Esta forma de calcular a TH é rápida e de fácil de compreensão.

## 2.4. Descrições Metodológicas

Nesta seção serão detalhadas as técnicas para cada abordagem, com seus respectivos procedimentos para extração de LT. Na primeira abordagem serão utilizadas duas técnicas que se diferenciam pelo detector de bordas enquanto que na segunda abordagem serão utilizadas técnicas basicamente com morfologia matemática.

Na primeira abordagem, no primeiro procedimento é utilizada uma técnica comumente usada para trato inicial de extração de linhas, como realce do contraste, no pré-processamento; detecção de bordas e extração de linhas por TH, conforme o diagrama de blocos, na figura 2.1. O detector de bordas SUSAN, é o diferenciador para o segundo procedimento. É uma forma de detecção de bordas relativamente nova e pouco abordada na literatura, chamando a atenção pelo enfoque para detecção de bordas, diferenciado do usual.

Na segunda abordagem o tratamento por Morfologia Matemática será o enfoque principal. O tratamento por MM vai proporcionar um enriquecimento quando comparada as técnicas anteriormente abordadas, apresentando um detalhamento simplificado com filtragem morfológica e detector de bordas externas.

É importante observar que a utilização de técnicas consagradas para extração de linhas, como a Transformada de Hough, ou desta através da Transformada de Radon, foram utilizadas em todas as técnicas de detecção de bordas. A utilização da Transformada de Hough na fase final de cada processo descrito se deve ao fato de ser a melhor técnica para exibição final das linhas de transmissão, o qual é o alvo deste trabalho.

Os procedimentos utilizados na verdade são combinações de técnicas detecção de bordas e obtenção de linhas. As quais estão destacadas na tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Discriminação de Procedimentos dentro das duas Abordagens.

<b>1ª ABORDAGEM → Detecções distintas</b>			
<b>PROCEDIMENTOS</b>	<b>REALCE</b>	<b>DETECÇÃO DE BORDAS</b>	<b>EXTRAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO</b>
<b>1º</b>	<i>Realce</i>	<i>Filtro Canny</i>	Transformada de Hough
<b>2º</b>			Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon
<b>3º</b>		<i>Detector Susan</i>	Transformada de Hough
<b>4º</b>			Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon
<b>2ª ABORDAGEM → Detecção por morfologia matemática</b>			
<b>5º</b>	<i>Realce</i>	Filtragem Morfológica + <i>Detector Morfológico de Bordas Externas</i>	Transformada de Hough
<b>6º</b>			Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon

É importante destacar que as abordagens estão ligadas aos tipos de métodos de detecção de bordas.