



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

**Márcia Luzia Correia de Abreu**

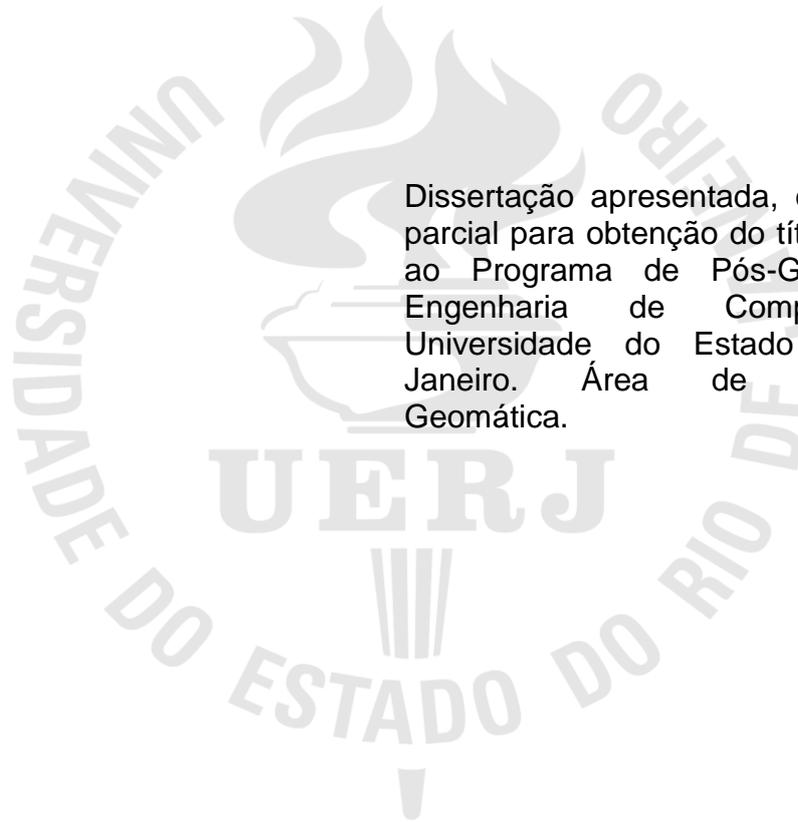
**Extração de linhas de imagens de sensoriamento remoto**

Rio de Janeiro

2009

Márcia Luzia Correia de Abreu

**Extração de linhas de imagens de sensoriamento remoto**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Fernandes Velloso

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Lucio Abelha Mota

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A162 Abreu, Márcia Luzia Correia de.  
Extração de linhas de imagens de sensoriamento remoto /  
Márcia Luzia Correia de Abreu. – 2009.  
132f.

Orientadora: Maria Luiza Fernandes Velloso  
Coorientador: Guilherme Lucio Abelha Mota  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Sensoriamento remoto - Teses. 2. Geomática - Teses. 3.  
Engenharia de Computação. I. Velloso, Maria Luiza Fernandes.  
II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 528.8

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Márcia Luzia Correia de Abreu

**Extração de linhas de imagens de sensoriamento remoto**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geomática.

Aprovado em: 30 de outubro de 2009.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Fernandes Velloso (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Guilherme Lucio Abelha Mota (Coorientador)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Lisandro Lovisolo  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karla Tereza Figueiredo Leite  
Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio

Rio de Janeiro

2009

## **DEDICATÓRIA**

A meus pais, Marciano de Abreu e Terezinha Correia de Abreu. Eles, que não mediram esforços em fazer o máximo para que eu chegasse até aqui. Eles me incentivaram, me educaram com amor e carinho, com repreensão quando necessário, me proporcionando não só um crescimento intelectual, mas de caráter, perseverança e fé.

A minha querida irmã Marta Luiza e sobrinha Brenda, vocês moram no meu coração.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, meu pai amado, que em nenhum momento me abandonou. A Ele agradeço por me carregar no colo, e se revelar a mim, com sua infinita misericórdia, nos momentos mais difíceis desta jornada. Agradeço a Ele na figura de Seu filho amado Jesus Cristo, que tudo sofreu, mas continua nos amando até o fim. Agradeço a Cristo este exemplo.

Agradeço aos orientadores Dra. Maria Luiza Fernandes Velloso e Dr. Guilherme Lucio Abelha Motta, pela paciência, dedicação, e empenho em tornar este trabalho em uma fonte de consulta com esta qualidade.

Agradeço ao colega Carlos Henrique, pela imensa ajuda com a aquisição das imagens de Furnas, as quais são à base desse trabalho, e a colegas do mestrado como Leonardo. A amizade de vocês é algo precioso. Aos funcionários da Geomática, Luis e Rinette, e Silvia da Secretaria da Eletrônica e Telecomunicações, pela atenção e carinho.

A meus pais, familiares e a tantos quantos estiveram a meu lado, me lembrando a cada dia que eu tinha um alvo, uma meta a ser atingida, a qual me possibilitaria um crescimento sem igual. A eles por contribuírem nesta jornada meus agradecimentos. A querida amiga Keith de Andrade, e seu esposo João Luis de Andrade, que sem perceber me motivaram grandemente para realização deste trabalho. Vocês serão sempre lembrados.

## RESUMO

ABREU, Márcia Luzia *Correia de*. *Extração de linhas de imagens de sensoriamento remoto*. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Essa dissertação tem o objetivo de verificar a contribuição de diferentes abordagens para extração de linhas, à classificação de imagens multiespectrais, com o possível uso na discriminação e mapeamento de classes de cobertura da terra. Nesse contexto, é efetuada a comparação entre diferentes técnicas de extração de características para extração de linhas de transmissão em áreas rurais, a saber, técnicas de realce utilizando variação de contraste e filtragem morfológica, bem como detecção de bordas utilizando filtro Canny e detector SUSAN, citando como técnica de extração de linhas a Transformada de Hough e Transformada de Radon, utilizando diferentes algoritmos, em imagens aéreas e de sensoriamento remoto. O processo de análise de imagens, com diferentes abordagens leva a resultados variados em diferentes tipos de coberturas do solo. Tais resultados foram avaliados e comparados produzindo tabelas de eficiência para cada procedimento. Estas tabelas direcionam a diferentes encaminhamentos, que vão variar de abordagem dependendo do objetivo final da extração das Linhas de Transmissão.

Palavras-chave: Extração de linhas; Detecção de bordas; Filtro Canny; Linhas de transmissão; Transformada de Hough; Transformada de Radon; Detector SUSAN; Morfologia matemática.

## **ABSTRACT**

This dissertation has the objective to verify the contribution of different tips for line detection, to the classification of multispectral images, with the possible use in the discrimination and mapping of class of covering of the land. In this context, the comparison between different techniques of detection of characteristics for extraction of power lines in agricultural areas is affected, namely, distinction techniques using variation of contrast and morphologic filtering, and detection of edges using filter Canny and detector SUSAN. In this case were used techniques of extraction of lines with Hough Transform and Radon Transform too, using different algorithms in aerial images of remote sensing. These results had evaluated and compared producing tables of efficiency for each procedure. These tables direct the different solutions that change of boarding depending of the final objective of the detection of the Power Lines.

**Keywords::** Detection of lines; Detection of edges; Power lines; Canny filter; Hough Transform; Radon Transform; Detector SUSAN; Mathematical morphology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diagrama de Blocos com a visão geral da Metodologia.....	17
Figura 2.1 - Visão geral da Metodologia.....	24
Figura 2.2 - Diagrama de Blocos ressaltando Realce.....	22
Figura 2.3 - Diagrama de Blocos ressaltando Detector de Bordas.....	23
Figura 2.4 - Diagrama de Blocos ressaltando Extração de Linhas.....	25
Figura 3.1 - Gráfico da Intensidade de uma imagem.....	31
Figura 3.2 - Gráfico da intensidade representando uma borda bidimensional.....	32
Figura 3.3 - Máscara Prewitt vertical e horizontal.....	32
Figura 3.4 - Máscara Sobel.....	33
Figura 3.5 - Gráficos das funções de Gauss, primeira derivada e segunda.....	36
Figura 3.6 - Gráficos das funções em 2-D, de Gauss (a), primeira derivada (b) e segunda derivada (c).....	37
Figura 3.7 - Quatro máscaras circulares em diferentes lútes em uma imagem simples...	40
Figura 3.8 - Quatro máscaras com cores similares. USANs são mostradas como parte branca da máscara.....	40
Figura 3.9 - Uma figura tridimensional da área de USAN dada uma pequena parte de teste da imagem, mostrando as borda e os cantos intensificados.....	41
Figura 3.10- Máscaras de linha.....	45
Figura 3.11- As coordenadas do ponto, $(a', b')$ , corresponde ao coeficiente angular e linear da reta que une $(x_j, y_j)$ e $(x_j, y_j)$ no espaço real.....	47
Figura 3.12- Neste caso obtém-se a TH, no espaço dos parâmetros $\rho$ e $\theta$ .....	47
Figura 3.13- Parametrização das linhas no plano; curvas senoidais e divisão do plano em células acumuladora respectivamente para as imagens (a), (b) e (c).....	48
Figura 3.14- Representação espacial e TR, respectivamente.....	50
Figura 3.15- Exemplo de dilatação binária.....	60
Figura 3.16- Exemplo de erosão binária.....	61
Figura 3.17- Visão geral das operações da morfologia matemática binária.....	64
Figura 3.18- Exemplo de fechamento.....	64
Figura 4.1 - Duas imagens aéreas da Serra da Mesa, com usina (a) e vista panorâmica do entorno da mesma (b).....	68

Figura 4.2 - Obtenção do recorte das imagens .....	70
Figura 4.3 - Imagens recortadas destacadas .....	70
Figura 4.4 - Diagrama de Blocos ressaltando o Realce .....	71
Figura 4.5 - Imagem complemento respectivamente das imagens da Figura 4.3.....	71
Figura 4.6 - Diagrama de Blocos ressaltando Detector de Bordas .....	72
Figura 4.7 - Escolha do melhor filtro para detecção de bordas utilizando a imagem “a_aguacon”, filtros Prewitt (a), Sobel (b), Log (c) e Canny (d), respectivamente.....	73
Figura 4.8 - Detector de bordas Canny para a imagens “a_guacon”, imagem “a_rochacon” e imagem “a_mistacon” respectivamente.....	73
Figura 4.9 - Etapas do detector de bordas para imagem “a_agua” .....	75
Figura 4.10- Etapas do detector de bordas para imagem “a_rocha”.....	76
Figura 4.11- Etapas do detector de bordas para imagem “a_mista”.....	77
Figura 4.12- Filtragem morfológica das imagens da figura 4.5, “a_aguacon”, “a_rochacon” e “a_mistacon”, respectivamente .....	80
Figura 4.13- Detecção de bordas das figuras: (a) $IG > 150$ e (b) $IG > 210$ , (c) operadores morfológicos associados (a) e (b), para a imagem “a_agua” .....	80
Figura 4.14- Detecção de bordas das figuras: (a) $IG > 150$ , (b) $IG > 210$ e (c) operadores morfológicos associados (a) e (b), para a imagem “a_rocha” .....	81
Figura 4.15- Detecção de bordas das figuras: (a) $IG > 150$ e (b) 210, (c) operadores morfológicos associados (a) e (b), para a imagem “a_mista”.....	81
Figura 4.16- Diagrama de Blocos ressaltando a Extração de Linhas .....	83
Figura 4.17- Mapa da Transformada de Hough das imagens da figura 4.8, utilizando Filtro Canny. 1º Procedimento .....	84
Figura 4.18- Extração das linhas das imagens da figura 4.8, que utilizaram filtro Canny. 1º Procedimento.....	84
Figura 4.19- Mapa da Transformada de Hough para o Detector Susan. 3º procedimento ...	86
Figura 4.20- Extração das linhas de transmissão por Transformada de Hough para o Detector Susan. 3º Procedimento.....	86
Figura 4.21- Mapa da Transformada de Hough para as imagens (c) das figuras 4.13, 4.14 e 4.15 de MM, respectivamente, 5º Procedimento .....	88

Figura 4.22-	Extração das linhas de transmissão por Transformada de Hough para as imagens .....	
	..... (c)	
	das figuras 4.13, 4.14 e 4.15 de MM, respectivamente .....	88
Figura 4.23-	Mapa da TH utilizando TR para as imagens (c) das figuras 4.13, 4.14 e 4.15 respectivamente, que utilizaram filtro Canny. 5º Procedimento.....	91
Figura 4.24-	Extração das linhas das imagens da figura 4.8, que utilizaram filtro Canny. 2º Procedimento .....	91
Figura 4.25-	Mapa da TH utilizando TR das imagens da figura 4.9(a), 4.10(a) e 4.11(a) as quais utilizaram Detector Susan, respectivamente. 4º procedimento..	93
Figura 4.26-	Extração das linhas das imagens da figura 4.9(a), 4.10(a) e 4.11(a) respectivamente, utilizando TR. 4º procedimento .....	93
Figura 4.27-	Mapa da TH utilizando TR, das imagens (c) das figuras 4.13, 4.14 e 4.15 de MM, respectivamente, utilizando TR. 6º Procedimento .....	95
Figura 4.28-	Extração das linhas de transmissão por TH utilizando TR das figuras (c) 4.13, 4.14 e 4.15 de MM, respectivamente .....	96
Figura 4.29-	Extração das linhas utilizando Filtro Prewitt .....	97
Figura 4.30-	Extração das linhas utilizando Filtro Sobel .....	97
Figura 4.31-	Extração das linhas utilizando Filtro LoG .....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Discriminação de Procedimentos dentro das duas Abordagens	28
Tabela 4.1 - Parte da tabela 2.1 - Discriminação de Procedimentos que utilizam a Transformada de Hough .....	83
Tabela 4.2 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas, 1º Procedimento.....	85
Tabela 4.3 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas, 3º Procedimento.....	87
Tabela 4.4 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas 5º Procedimento.....	89
Tabela 4.5 - Parte da tabela 2.1 - Discriminação de Procedimentos que obtém a TH utilizando a TR .....	90
Tabela 4.6 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas ⇒ 2º Procedimento .....	92
Tabela 4.7 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas ⇒ 4º Procedimento.....	94
Tabela 4.8 - Melhores ajustes de parâmetros para extração de linhas ⇒ 6º Procedimento .....	96
Tabela 5.1 - Quadro comparativo ⇒ 1º Procedimento .....	100
Tabela 5.2 - Quadro comparativo ⇒ 2º Procedimento .....	101
Tabela 5.3 - Quadro comparativo ⇒ 3º Procedimento .....	102
Tabela 5.4 - Quadro comparativo ⇒ 4º Procedimento .....	103
Tabela 5.5 - Quadro comparativo ⇒ 5º Procedimento .....	104
Tabela 5.6 - Quadro comparativo ⇒ 6º Procedimento .....	105
Tabela 5.7 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_agua” ...	106
Tabela 5.8 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_rocha”	106
Tabela 5.9 - Quadro Comparativo dos procedimentos para a imagem “a_mista” ..	106

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

LT	LINHAS DE TRANSMISSÃO
LoG	LAPLACIANO DE GAUSSIANA
MM	MORFOLOGIA MATEMÁTICA
PDI	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS
TH	TRANSFORMADA DE HOUGH
TR	TRANSFORMADA DE RADON

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1	<b>MOTIVAÇÃO</b> .....	18
1.1	<b>Objetivos</b> .....	19
1.2	<b>Descrição do Trabalho</b> .....	20
2	<b>METODOLOGIA</b> .....	21
2.1	<b>Realce</b> .....	22
2.2	<b>Detecção de Bordas</b> .....	23
2.3	<b>Extração de Linhas</b> .....	25
2.4	<b>Descrições Metodológicas</b> .....	27
3	<b>FUNDAMENTOS BÁSICOS</b> .....	29
3.1	<b>Introdução</b> .....	29
3.2	<b>Realce</b> .....	30
3.3	<b>Detecção de Bordas</b> .....	31
3.3.1	<u>Tipos de Bordas</u> .....	31
3.3.2	<u>Principais Filtros de Detecção de Bordas</u> .....	32
3.3.2.1	Filtro Prewitt.....	32
3.3.2.2	Filtro Sobel .....	33
3.3.2.3	Filtro Laplaciano de detector Gaussiano (LoG) .....	34
3.3.2.4	Filtro Canny .....	35
3.3.3	<u>Detector Susan</u> .....	40
3.3.3.1	Área Susan.....	40
3.3.3.2	Detector Susan Em Detalhes .....	42
3.4	<b>Extração de Linhas</b> .....	44
3.4.1	<u>Transformada De Hough</u> .....	46
3.4.1.1	Técnicas da Transformada de Hough.....	46
3.4.1.2	Vantagens da TH.....	48
3.4.2	<u>Transformada de Radon</u> .....	49
3.4.2.1	Definição.....	49
3.4.3	<u>Relação entre Transformada de Hough e Transformada de Radon</u> .....	51
3.4.3.1	Discussão .....	52

3.4.3.2	Relação Matemática.....	56
3.4.4	<u>Morfologia Matemática</u> .....	57
3.4.4.1	Estratégia de Busca.....	58
3.4.4.2	Tipos De Operações Morfológicas.....	59
3.4.4.3	Operações Básicas da Morfologia Matemática .....	59
3.4.4.4	Extensão para Imagens em Tons de Cinza .....	65
4	<b>EXPERIMENTOS</b> .....	67
4.1	<b>Dados de Testes</b> .....	69
4.2	<b>Subdivisão da Imagem</b> .....	70
4.3	<b>Realce</b> .....	72
4.4	<b>Detecção De Bordas</b> .....	73
4.4.1	<u>Utilizando Filtro Canny</u> .....	73
4.4.2	<u>Utilizando Detector Susan</u> .....	75
4.4.3	<u>Utilizando Filtragem Morfológica + Detector de Bordas Externas</u> .....	79
4.4.3.1	Filtragem Morfológica .....	80
4.4.3.2	Detector de Bordas externas .....	81
4.5	<b>Extração de Linhas</b> .....	84
4.5.1	<u>Extração por Transformada de Hough</u> .....	84
4.5.1.1	Para Imagens que utilizaram como Detector De Bordas Filtro Canny .....	85
4.5.1.2	Para Imagens que utilizaram como Detector De Bordas Detector Susan .....	87
4.5.1.3	Para Imagens que utilizaram como Detector De Bordas MM.....	89
4.5.2	<u>Extração por Transformada deHough utilizando Transformada de Radon</u> ...90	
4.5.2.1	Para Imagens que utilizaram como Detector de Bordas Filtro Canny .....	92
4.5.2.2	Para Imagens que utilizaram como Detector De Bordas Detector Susan ....	94
4.5.2.3	Para Imagens que utilizaram como Detector De Bordas MM .....	96
4.6	<b>ESCOLHA DO FILTRO CANNY</b> .....	98
4.7	<b>EFICIÊNCIA METODOLÓGICA</b> .....	100
5	<b>RESULTADOS</b> .....	101
5.1	<b>Extração por Transformada de Hough</b> .....	101
5.1.1	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas Filtro Canny</u> .....	101

5.1.2	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas Detector Susan</u> .....	102
5.1.3	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas MM</u> .....	103
5.2	<b>Extração por Transformada de Hough utilizando Transformada de Radon</b> .....	103
5.2.1	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas Filtro Canny</u> .....	104
5.2.2	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas Detector Susan</u> ..	105
5.2.3	<u>Para Imagens que Utilizaram como Detector de Bordas MM</u> .....	106
5.3	<b>Comparação entre Técnicas e Procedimentos</b> .....	107
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	109
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	107
	<b>APÊNDICE A – Algoritmos</b> .....	112
	<b>APÊNDICE B – Revisão de Teoria dos Conjuntos</b> .....	131