

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOQUÍMICA**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, DE SENSORIAMENTO REMOTO,  
ESPECTRORRADIOMÉTRICOS E GEOFÍSICOS APLICADA À  
PROSPECÇÃO DE DEPÓSITOS FILONEANOS DE FLUORITA  
HIDROTHERMAL NO SUDESTE DE SANTA CATARINA**

**VOLUME II**

**ROSEMARY HOFF**

**ORIENTADOR:**

Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto (Instituto de Geociências)

**CO-ORIENTADORA:**

Profa. Dra. Sílvia Beatriz Alves Rolim (Instituto de Geociências)

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Luis Henrique Ronchi (UNISINOS)

Prof. Dr. José Leonardo Andriotti (CPRM)

Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa (Instituto de Geociências)

Tese de Doutorado apresentada como requisito para obtenção do  
Título de Doutor em Geociências

**Porto Alegre, março de 2002.**

Hoff, Rosemary

Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectrorradiométricos e geofísicos aplicada à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no sudeste de Santa Catarina. / Rosemary Hoff – Porto Alegre: UFRGS, 2002.

2v. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2002.

1. Integração de Dados. 2. Sensoriamento Remoto Geológico. 3. Geofísica Aplicada à Prospecção. 4. Espectrorradiometria. 5. Alteração Hidrotermal. 6. Distrito Fluorítico de Santa Catarina. I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca do Instituto de Geociências – UFRGS  
Renata Cristina Grün CRB10/1113

*À Mariazinha, minha mãe.*

*“Sábio é o homem que chega a ter consciência da sua ignorância”.*

Apparício Torelly, "Barão de Itararé".

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto, pela aceitação em orientar este projeto. Pela sua inestimável contribuição, principalmente no que diz respeito ao conhecimento geológico da área estudada, o que enriqueceu muito as discussões. Pelo apoio e pela amizade.

À minha co-orientadora Prof. Dra. Sílvia Beatriz Alves Rolim, pela contribuição e pelos ensinamentos na área de geofísica, e pela sua amizade.

Aos Professores Dr. Nelson Amoretti Lisboa, Dr. Luiz Henrique Ronchi e Dr. José Leonardo Andriotti que me deram a honra de examinar este trabalho.

Aos professores do Instituto de Geociências, Dr. Nelson Amoretti Lisboa, Dr. Antônio Flávio Uberti Costa e Dr. Lauro Valentim Stoll Nardi, pelas críticas e sugestões oferecidas no exame de qualificação que foram extremamente úteis para o prosseguimento do trabalho.

Ao Geólogo Clovis Norberto Savi e ao Eng. de Minas Altair Flamarion Klippel da Mineração Floral Ltda, de Morro da Fumaça, SC, pela cedência de dados e apoio aos trabalhos de campo.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho do Laboratório de Espectroscopia de Reflectância da Universidade Estadual de Campinas – LER/UNICAMP.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geociências, Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima e sua valorosa equipe da Secretaria do CPGGEO, Roberto, Hugo e Carlos por todo o apoio que deram a este trabalho. Especialmente ao Chinês pela cedência de espaço na geladeira.

Ao Instituto de Geociências, pela infra-estrutura para realização das atividades da tese, e seus laboratórios, principalmente o Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geodésia. Ao geólogo Edson Thadeu Pacheco, responsável pelo Laboratório de Processamento Mineral – LAPROM/UFRGS, pelo apoio na preparação das amostras. Ao Prof. Dr. Antônio Pedro Viero, pelo auxílio no programa de geologia estrutural.

À equipe de vigilância e segurança do Campus do Vale, pelo apoio nas noites, madrugadas e dias desertos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico – CNPq pela bolsa de doutoramento.

À Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, pela cedência dos dados aerogeofísicos, na pessoa da Geóloga Maria Laura, SUREG Rio de Janeiro, bem como aos colegas da SUREG Porto Alegre.

À Companhia Riograndense de Mineração - CRM, na pessoa dos Diretores José Alcides Fonseca Ferreira, Luciano Teodoro Marques e Arno Bona, pela concessão do tempo, apoio e amizade neste final de tese.

Aos colegas da “Equipe do Artur”, Andréa Jelinek, Flávio França Nunes da Rocha, Clarissa Lovato Melo e Ricardo Marquezan, pelo companheirismo e discussões. Especialmente aos bolsistas de iniciação científica Maurício Prado, pela inestimável apoio na execução das figuras e ao Marcelo Schwarz e ao Michel Marques Godoy, pela ajuda no final do trabalho. Sem esquecer o Ricardo Brasil e Maicol da Rosa, que participaram da primeira metade do trabalho.

Ao Artur e ao Flávio pelo apoio, paciência e dedicação nos momentos finais dos ensaios para apresentação da tese, quando eles perderam algumas madrugadas.

À equipe da SULSOFT, pelo apoio técnico no ENVI, da parte do Sr. Michael Steinmayer e Acad. de Engenharia Cartográfica (UFRGS) Carlos Aloísio.

Aos colegas do curso de pós-graduação pela amizade nesta jornada. Aos amigos em geral, por desculpar minha ausência.

Aos meus familiares, minha mãe Maria, filho Fábio, mano Luiz, Claudete, sobrinhos Bárbara, Leozinho e Arthurzinho, pelo incentivo e pela compreensão pela minha falta de tempo. Ao meu velho pai, José Leopoldo Hoff “in memoriam”, pelo incentivo e apoio.

***Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectrorradiométricos e geofísicos aplicada à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no sudeste de Santa Catarina***

**Autor: Rosemary Hoff  
Orientador: Artur Cezar Bastos Neto  
Co-orientadora: Sílvia Beatriz Alves Rolim**

## **RESUMO**

Os processamentos de imagens orbitais efetuados através de técnicas de sensoriamento remoto geraram informações qualitativas de natureza textural (morfo-estruturas). Estas permitiram (1) o reconhecimento de áreas com diferentes padrões estruturais tendo diferentes potencialidades para a prospecção de fluorita, (2) a identificação de novos lineamentos estruturais potencialmente favoráveis à mineralização e (3) evidenciaram prolongamentos extensos para as principais estruturas mineralizadas, (4) às quais se associam um grande número de estruturas, antes desconhecidas, com grande potencial prospectivo. O aprimoramento de técnicas de classificação digital sobre produtos de razões de bandas e análise por componentes principais permitiu identificar a alteração hidrotermal associada às estruturas, incorporando novos critérios para a prospecção de fluorita. Buscando-se quantificar os dados de alteração hidrotermal, foi efetuada a análise espectrorradiométrica das rochas do distrito fluorítico. Integrando estas informações com dados TM LANDSAT 5, em nível de reflectância, obteve-se a classificação espectral das imagens orbitais, o que permitiu a identificação de estruturas menores com um detalhe nunca antes obtido. Os processamentos de dados aerogeofísicos forneceram resultados sobre estruturas (magnetometria) e corpos graníticos afetados por alteração hidrotermal (aerogamaespectrometria). Estes produtos foram integrados com dados TM LANDSAT 5 associando o atributo textural da imagem orbital ao comportamento radiométrico das rochas. Diagnosticou-se o lineamento Grão-Pará como o principal prospecto do distrito. E levantaram-se uma série de dados sobre a compartimentação tectônica da região, a zonação de fácies das rochas graníticas (rocha fonte do flúor) e as alterações hidrotermais associadas ao magmatismo granítico. Isto permitiu a compreensão da distribuição regional dos depósitos de fluorita, adicionando-se um novo critério à prospecção de fluorita, a relação espacial entre a mineralização e a rocha fonte de F. Esta última corresponde à fácies granítica da borda do Maciço Pedras Grandes.

***Geological, remote sensing, spectroradiometric and geophysical data integration applied for hydrothermal fluorite veins prospection in southeast Santa Catarina State, Brazil.***

**Author: Rosemary Hoff  
Advisor: Artur Cezar Bastos Neto  
Co-advisor: Sílvia Beatriz Alves Rolim**

**ABSTRACT**

Digital image processing in orbital images by remote sensing techniques generated qualitative textural information (morph structures). These allowed (1) the recognition of areas in different structural patterns with different fluorite search potentialities, (2) identification new structures potentially fluor-bearing and (3) evidence of extensive increase from the principal mineralized structures, (4) It's associated a great number of structures, before ignored, that have great prospective potential. The accuracy of techniques of digital classification on products of ratio analysis by principal components showed the alteration associated to the structures, incorporating new criteria for the fluorite search. Searching for quantify the alteration; the spectral analysis of the rocks in fluor district was employed. Integrating reflectance information with TM LANDSAT 5 data, obtained the classification of the orbital images, identifying smaller structures in detail. Geophysical data processing supplied results on structures (magnetometric) and granites alteration affected (aerogamaspectrometric). These products were integrated with TM LANDSAT 5 data, associating textural attribute in orbital image to radiometric behavior of the rocks. The Grão-Pará lineament was diagnosed as the principal into district. Tectonic blocking data, facies zonation in granites (F source rock) and alteration associated to the granite magmatism. This allowed to understanding regional distribution of the fluorite deposits, and defined new criteria to fluorite prospecting, spatial relationship by mineralization and rock source of fluor. This one is the external granitic facies of Pedras Grandes Massif.

# SUMÁRIO

## VOLUME I

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de abreviaturas e símbolos	xvi

### CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

	1
1. Apresentação do trabalho	2
2. Objetivos	2
3. Justificativa	3

### CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

	5
1. Geologia Regional	6
1.1. Faixa Granito-Gnáissica Santa Rosa de Lima/Tijucas	7
1.2. Granitos Brasileiros	7
1.3. Grupo Itajaí	9
1.4. Rochas Sedimentares	10
1.5. Formação Serra Geral	10
1.6. Maciço Alcalino de Anitápolis	11
1.7. Geologia Estrutural	11
2. Mineralizações de Fluorita	13
3. Alteração Hidrotermal no DFSC	16
3.1. Alterações hidrotermais na Mina Rio dos Bugres (Flores, 1998)	17
3.2. Alterações Hidrotermais na Mina 2 (Bastos Neto, 1997)	20
4. Trabalhos no DFSC em sensoriamento remoto e geofísica	23
5. Trabalhos de integração de dados de sensoriamento remoto, geofísicos e espectrorradiométricos para prospecção mineral	24

### CAPÍTULO III: METODOLOGIA

	26
1. Sensoriamento remoto	30
1.1. Fundamentos teóricos	30
1.2. Técnicas utilizadas	32
2. Geofísica	38
2.1 Fundamentos teóricos	38
2.1.1 Aeromagnetometria	39

2.1.2 Aerogamaespectrometria	41
2.2 Técnicas utilizadas	43
3. Espectrorradiometria	49
3.1 Fundamentos teóricos	49
3.2 Técnicas utilizadas	52
4. Integração de dados	54
4.1 Fundamentos teóricos	54
4.2 Técnicas utilizadas	56
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b>	60
1. Sensoriamento remoto	61
1.1. Dados estatísticos das imagens TM	61
1.2. Realce de contraste	61
1.3. Composições coloridas	62
1.4. Filtragens	65
1.5. Operações aritméticas	68
1.5.1. Razões entre bandas	68
1.5.2. Reclassificação	70
1.6. Transformação IHS	72
1.7. Análise por componentes principais	73
1.7.1. APC (bandas 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 7)	73
1.7.2. Imagem Hidroxila – H – APC (bandas 1-4-5-7)	76
1.7.3. Imagem Óxido de Ferro – F - APC (bandas 1-3-4-5)	77
1.7.4. Composição colorida	78
1.7.5. Reclassificação da composição colorida	80
1.7.6. Classificação de Imagem Considerando Critérios de Campo	80
1.8 Integração das filtragens com a imagem H-F reclassificada	81
2. Espectrorradiometria	84
2.1 Amostragem	84
2.2 Análise de espectros	84
2.3 Classificação espectral – integração dados TM LANDSAT 5	86
2.4 Análise por componentes principais dos dados de reflectância	87
3. Aeromagnetometria	87
3.1 Campo magnético residual	87
3.2. Redução ao pólo	88
3.3 Primeira derivada vertical	88

3.4 Sinal analítico	89
3.5 Integração com dados obtidos pela filtragem direcional no TM	89
3.6. Arcabouço Geológico do DFSC	89
3.7 Implicações para a Prospecção de Fluorita	92
4. Aerogamaespectrometria	94
4.1 Contagem Total	94
4.2 Canais Urânio, Tório e Potássio	94
4.3. Fator F	95
4.4 Arcabouço Geológico do DFSC	95
4.5. Alteração Hidrotermal	97
4.6 Implicações para a Prospecção de Fluorita	98
<b>CAPÍTULO V: DISCUSSÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	99
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	104

## VOLUME II

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Figura II.1: Mapa da margem continental da porção sul do Brasil, destacando DFSC (segundo Bastos Neto, 1997).	1
Figura II.2. Esboço geotectônico do estado de Santa Catarina, modificado de DNPM (1986).	2
Figura II.3: Mapa geológico do DFSC (segundo Morgental, 1983).	3
Figura II. 4. Mapa geológico do DFSC, modificado de Silva e Leites (2000).	4
Figura II.5. Esboço estrutural do Lineamento Canela Grande (Bastos Neto, 1990).	5
Figura II. 6. Esboço geológico do subdistrito Segunda Linha Torrens (modificado de Bastos Neto, 1990).	6
Figura II.7. Perfil esquemático do filão de fluorita da Mina 2 (segundo Savi, 1980).	7
Figura II.8. Fotografias de filão de fluorita.	8
Figura II. 9. Distribuição dos componentes mineralógicos nas vênulas da primeira geração dos granitóides encaixantes da Jazida Rio dos Bugres (segundo Flores, 1998).	9
Figura II. 10. Representação dos diagramas $MR^3$ $2R^3$ $3R^2$ e $M^+ -4S$ , $R^2$ dos minerais resultantes da alteração do plagioclásio e da biotita respectivamente (segundo Flores, 1998).	10
Figura II.11. Distribuição dos epidotos nos diversos tipos de granitos da Jazida Rio dos Bugres (segundo Flores, 1998).	10
Figura II. 12. A) Minerais resultantes da alteração do plagioclásio e biotita. B) Dados analíticos da nontronita, biotita e clorita. C) Filossilicatos de um tonalito alterado por soluções relativas às mineralizações de fluorita (modificado de Flores, 1998).	11
Figura II. 13. A) Distribuição dos componentes mineralógicos nas vênulas de segunda geração; B) Distribuição... (modificado de Flores, 1998).	12
Figura II. 14. Mineralizações na Mina 2, nível 110.	13
Figura II. 15. Diagrama $4Si$ $M^+ - 3R^2$ , da composição do interestratificado clorita/saponita (Segundo Bastos Neto <i>et al.</i> , 1997).	14
Figura II .16: Diagramas $M^+ - 4Si$ $R^2$ para interestratificados illita/esmectita da rocha encaixante alterada na Mina 2 (Segundo Bastos Neto <i>et al.</i> , 1997).	14
Figura III.1. Fluxograma da metodologia empregada. Pág, 42, Vol. I.	
Figura IV.1: Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste. TM1 e TM2	15
Figura IV.2: Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste. TM3 e TM4	16
Figura IV.3 Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste. TM5 e TM7	17
Figura IV.4. Composições coloridas dos tripletes entre as bandas TM LANDSAT 5. A) R4G1B3 e B) R4G1B7	18

sFigura IV.5. Composições coloridas dos tripletes entre as bandas TM LANDSAT 5. A) R4G1B5 e B) R4G2B5	19
Figura IV.6. Composições coloridas dos tripletes entre as bandas TM LANDSAT 5. A) R4G3B1 e B) R4G5B7	20
Figura IV.7. Imagens TM LANDSAT 5 com aplicação de filtragem multidirecional sobre a banda TM4 (A) e morfo-estruturas extraídas da imagem filtrada (B).	21
Figura IV.8. Detalhe da porção sul do DFSC, região do lineamento Canela Grande.	22
Figura IV.9. Morfo-estruturas obtidas pela imagem filtrada, mostrando as estruturas N0°-30°E e o lineamento Canela Grande	23
Figura IV.10: Classificação das estruturas do DFSC segundo sua direção.	24
Figura IV.11: Classificação das estruturas do DFSC segundo sua direção.	25
Figura IV.12: Razões combinadas entre as bandas 3/1 e 5/1 TM LANDSAT 5	26
Figura IV.13: Razões combinadas entre as bandas 5/4 e 5/7 TM LANDSAT 5	27
Figura IV.14: Razões combinadas entre as bandas 1/7 e 4/3 TM LANDSAT 5	28
Figura IV.15: Razões combinadas entre as bandas 2/4 e 5/3 TM LANDSAT 5	29
Figura IV.16: Razões combinadas entre as bandas 7/1 e 7/3 TM LANDSAT 5	30
Figura IV.17. Processamentos sobre razões de bandas TM LANDSAT 5.	31
Figura IV.18. Razões de bandas TM LANDSAT 5 reclassificadas	32
Figura IV.19. Razão 1/7 TM LANDSAT 5 reclassificada.	33
Figura IV.20. Detalhe da razão 1/7 – argilo-minerais feita sobre TM LANDSAT 5.	34
Figura IV.21: Aplicação da transformação IHS sobre bandas TM LANDSAT 5.	35
Figura IV.22: Transformação IHS sobre as bandas TM1, TM4 e TM5 – LANDSAT 5.	36
Figura IV.23: APC das seis bandas TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste	37
Figura IV.24: APC das seis bandas TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste	38
Figura IV.25: APC das seis bandas TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste	39
Figura IV.26: Imagem H – PC3 de APC sobre bandas 1-4-5-7 TM LANDSAT 5.	40
Figura IV.27: Imagem F – PC3 de APC sobre bandas 1-3-4-5 TM LANDSAT 5	41
Figura IV.28: Adição de imagens H e F – TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste.	42
Figura IV.29: Composição colorida das imagens rHgH+FbF.	43
Figura IV.30. Detalhe de estrutura em composição colorida das imagens rHgH+FbF.	44
Figura IV.31: Alvos segundo os critérios de Loughlin obtidos pela composição colorida rHgH+50FbF	45
Figura IV.32: Classificação de MAXVER sobre as bandas H, H+F e F de dados TM LANDSAT 5.	46
Figura IV.33: Reclassificação da imagem MAXVER de dados TM LANDSAT 5.	47
Figura IV.34: Filtragem N0°-10°E versus HF reclassificada.	48
Figura IV.35: Filtragem NE1 (N 10°-45° E) versus HF reclassificada de dados TM	

LANDSAT 5.	49
Figura IV.36: Filtragem versus HF reclassificada N45°-80°E e N80°-90°E	50
Figura IV.37: Filtragem versus HF reclassificada N0°-10°W e N10°-45°W	51
Figura IV.38: Filtragem versus HF reclassificada N45-80°W e N80°-90°W	52
Figura IV.39: Espectros de amostras do Granito Tabuleiro.	53
Figura IV.40: Espectros de amostras do Granito Pedras Grandes.	54
Figura IV.41: Espectros de amostras das estruturas controladoras de jazidas – Norte do DFSC.	55
Figura IV.42: Espectros de amostras das estruturas – Sul do DFSC.	56
Figura IV.43: Curvas espectrais dos endmembers para o DFSC.	57
Figura IV.44: Imagem classificação de endmember para o DFSC	58
Figura IV.45. Corte da imagem PC3 da imagem de reflectância, ressaltando morfo-estruturas associadas à alteração hidrotermal.	59
Figura IV.46: Imagem magnetométrica – campo magnético residual	60
Figura IV.47: Imagem magnetométrica – redução ao pólo.	61
Figura IV.48: Imagem magnetométrica – primeira derivada vertical.	62
Figura IV.49: Imagem magnetométrica – sinal analítico	63
Figura IV.50: Imagem radiométrica – contagem total	64
Figura IV.51: Imagem radiométrica – canal urânio	65
Figura IV.52: Imagem radiométrica – canal tório	66
Figura IV.53: Imagem radiométrica – canal potássio	67
Figura IV.54: Imagem radiométrica – fator F	68
Figura IV.55: Integração via IHS: PC1 versus fator F.	69

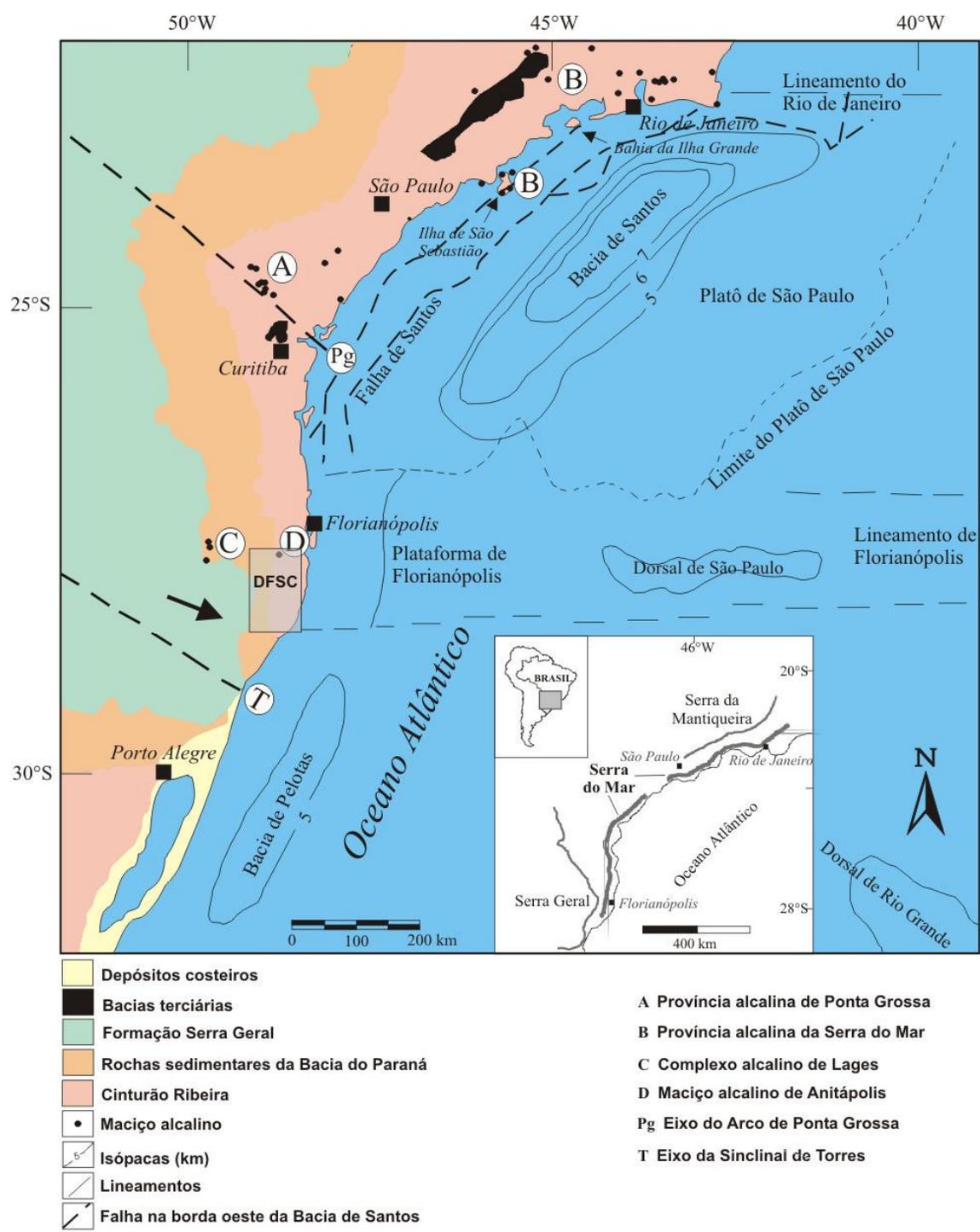


Figura II. 1 – Mapa da margem continental da porção sul do Brasil, destacando o DFSC (modificado de Bastos Neto, 1997).

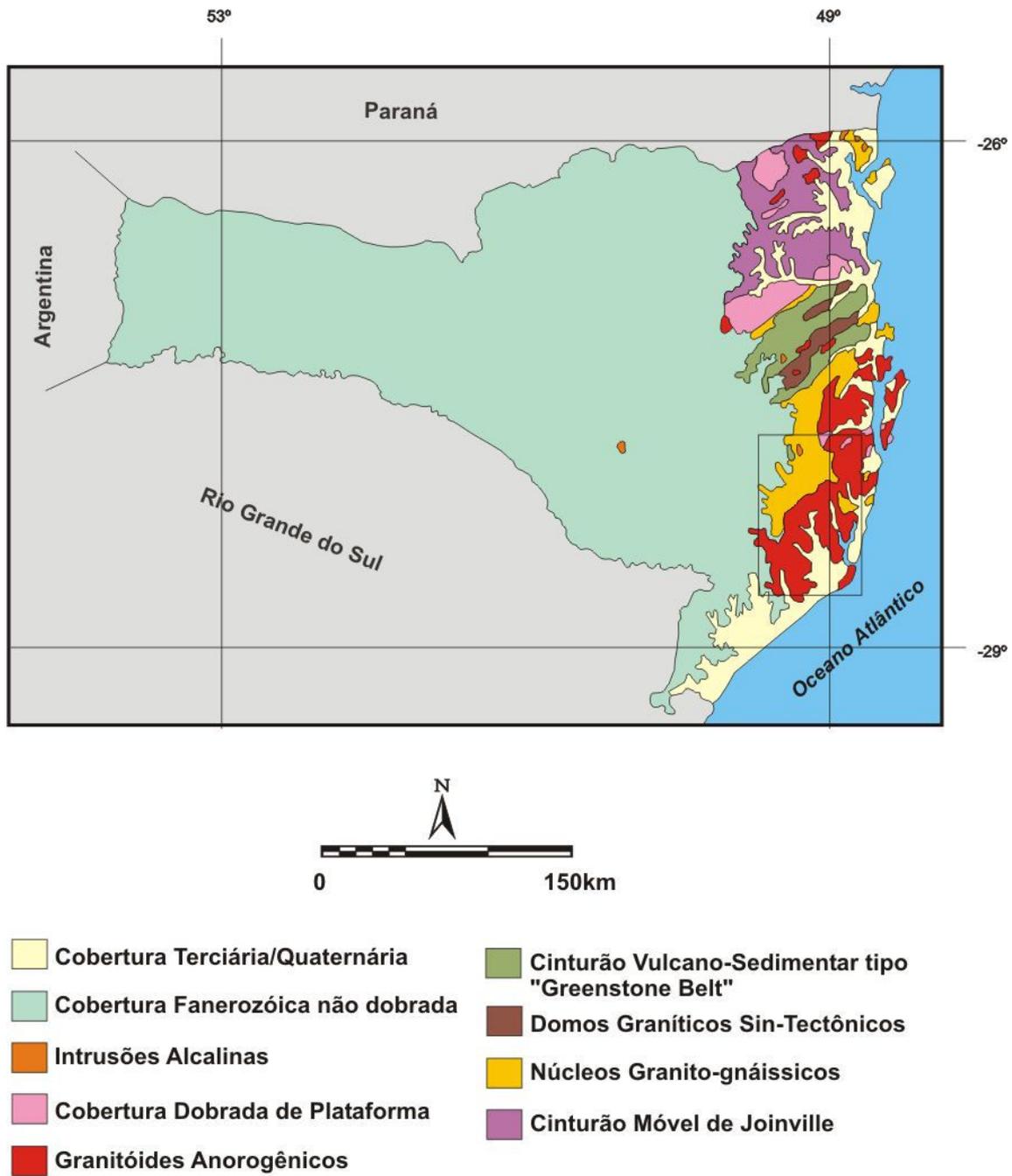


Figura II.2. Esboço geotectônico do estado de Santa Catarina, modificado de DNPM (1986).

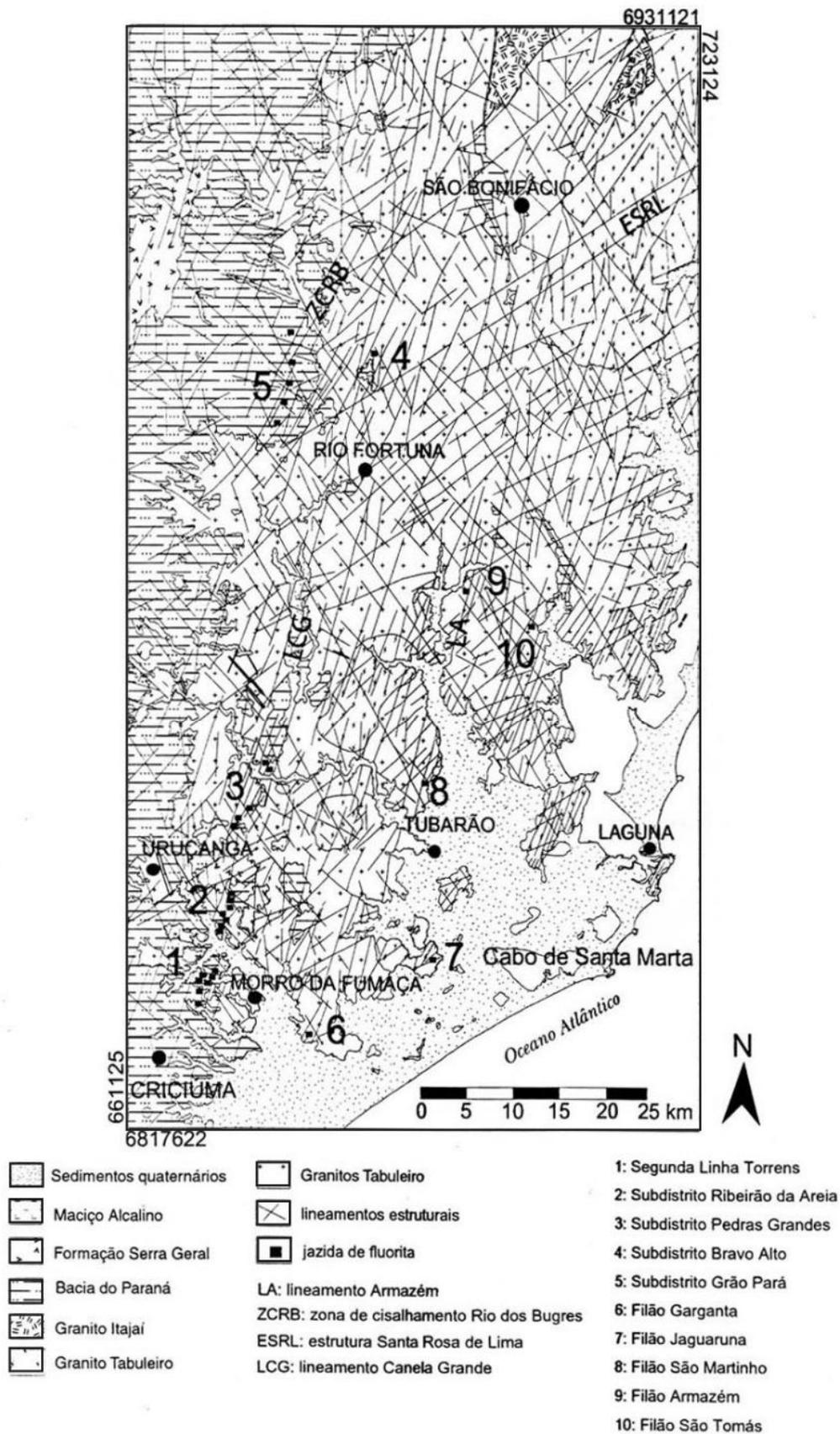


Figura II. 3 – Mapa geológico do DFSC, modificado de Morgental(1983).

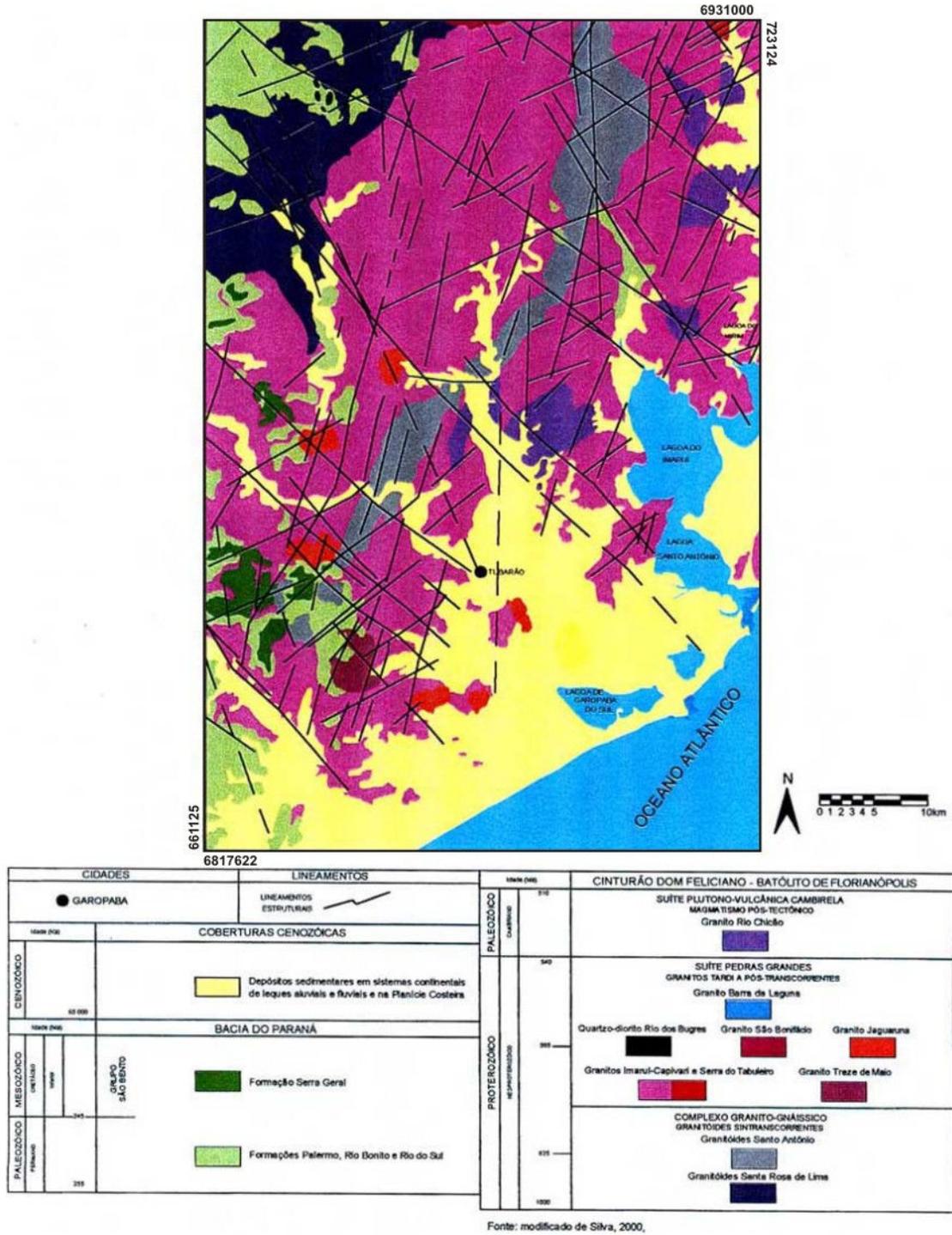


Figura II. 4. Mapa geológico do DFSC, modificado de Silva e Leites (2000).

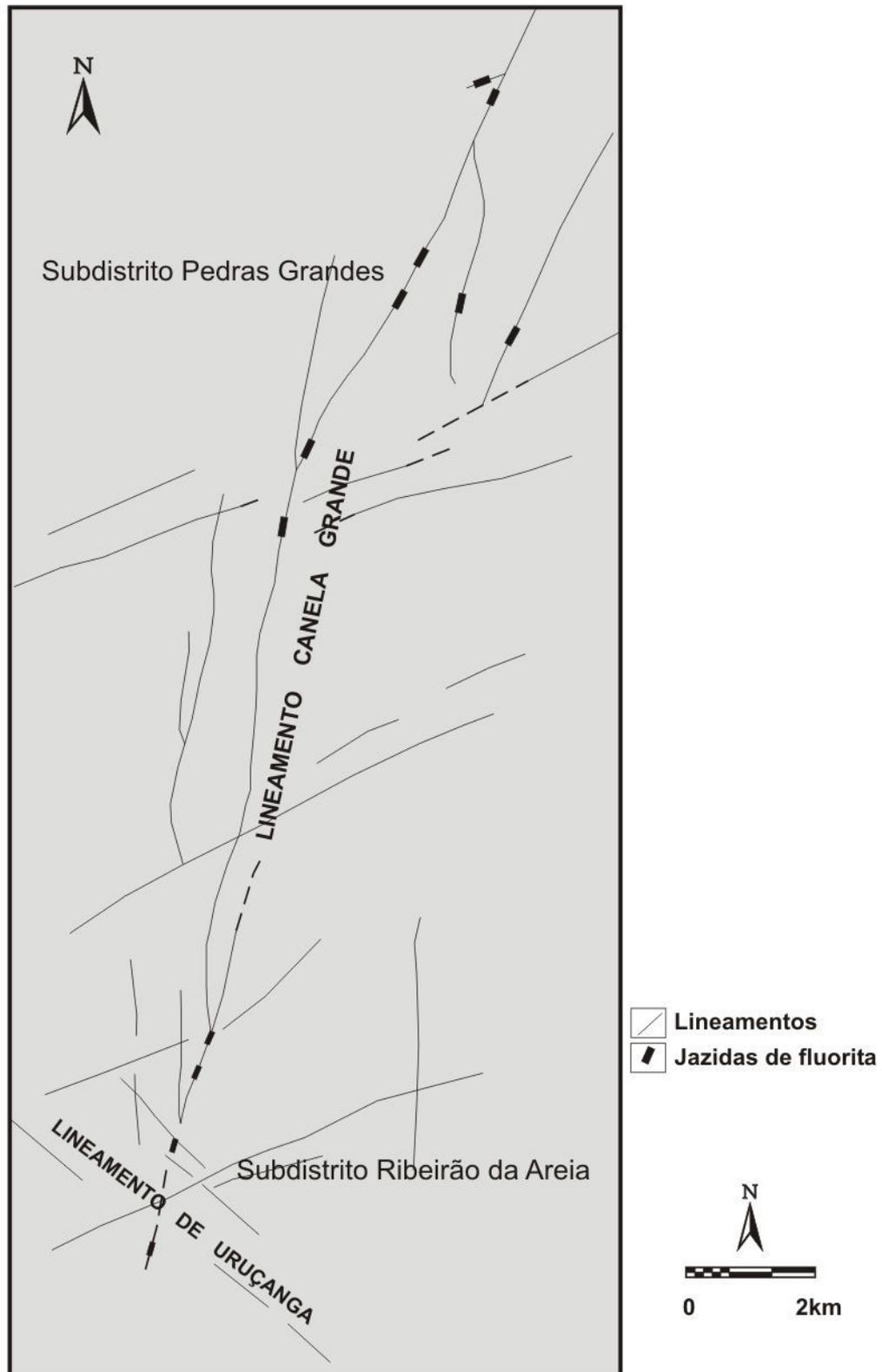


Figura II.5. Esboço estrutural do Lineamento Canela Grande (Bastos Neto, 1990).

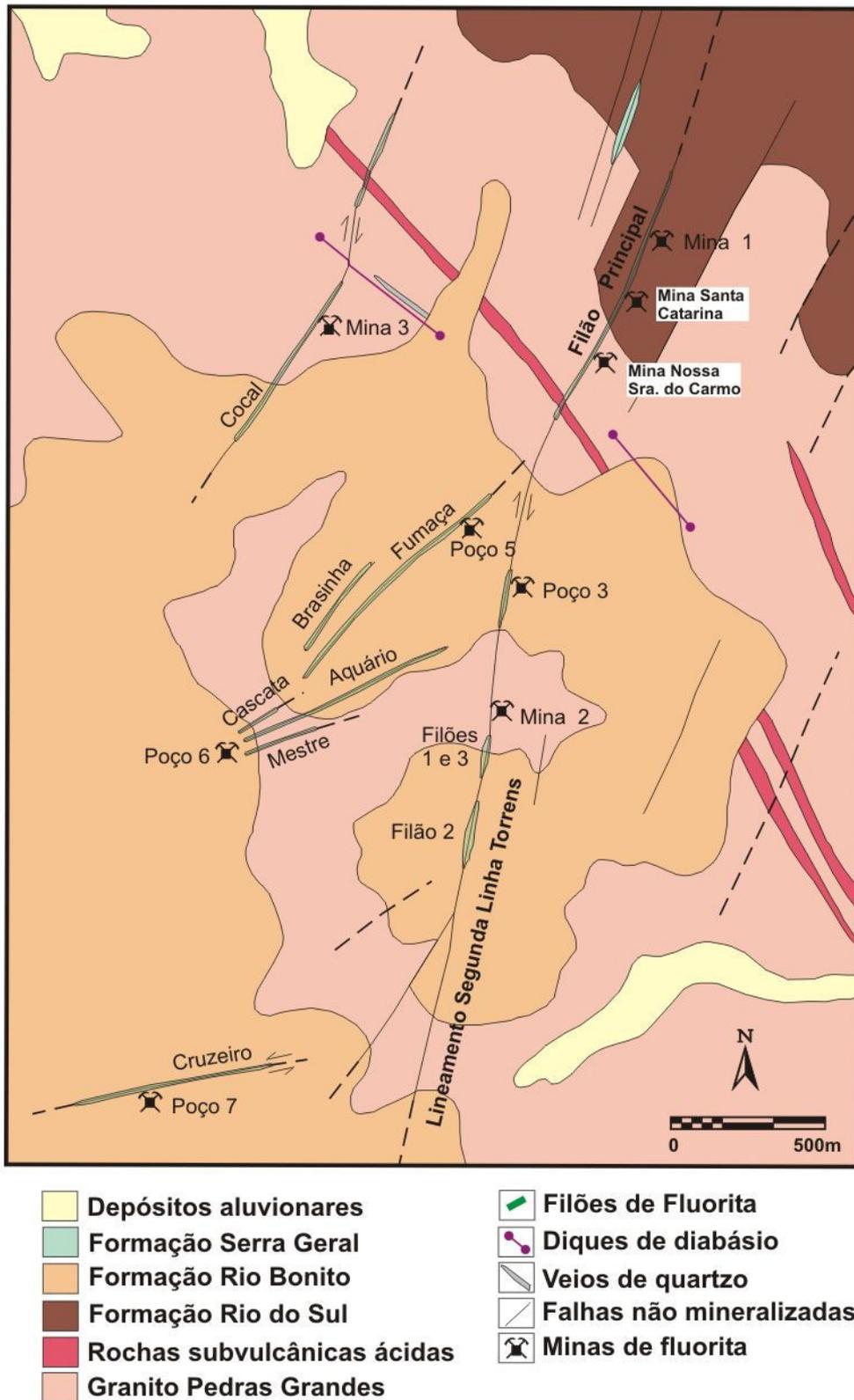


Figura II. 6. Esboço geológico do subdistrito Segunda Linha Torrens (modificado de Bastos Neto, 1990).

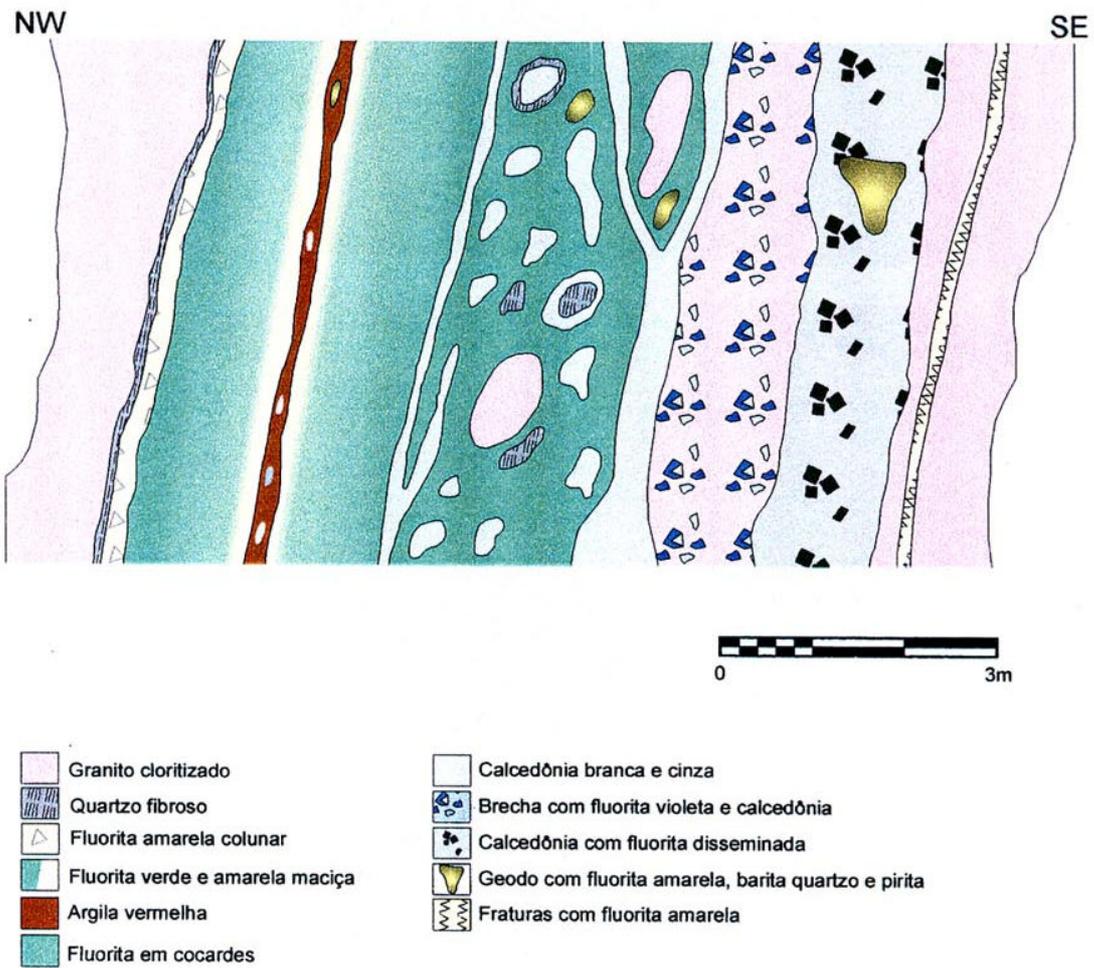


Figura II.7. Perfil esquemático do filão de fluorita da Mina 2 (segundo Savi, 1980).

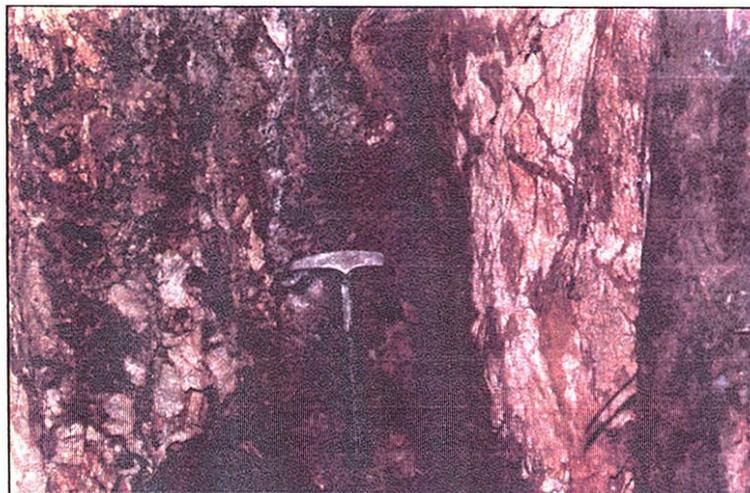
**A****B****C**

Figura II.8. Fotografias de filão de fluorita. A: Filão Cocal, nível 100, Mina 3, mostrando a fluorita; B: mesmo local mostrando a fluorita e a rocha encaixante; C: Filão Rio Bravo Alto, mineralização de fluorita em zona de cisalhamento e forte alteração da rocha encaixante.



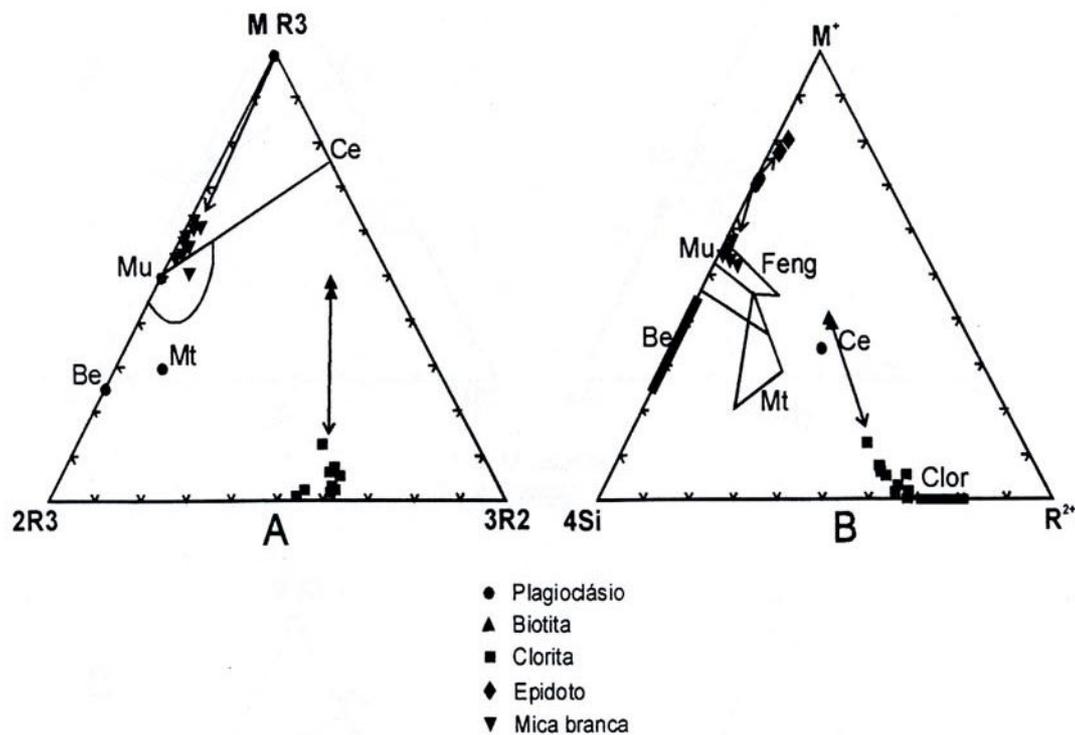


Figura II. 10. Representação dos diagramas  $MR^3 2R^3 3R^2$  e  $M^+ -4Si, R^2$  dos minerais resultantes da alteração do plagioclásio e da biotita respectivamente (segundo Flores, 1998).

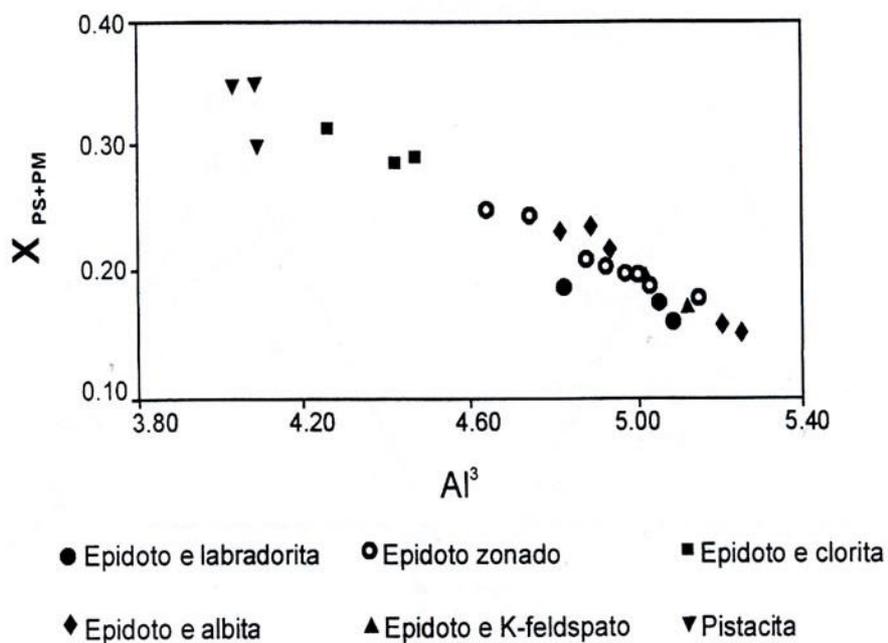


Figura II. 11. Distribuição dos epidotos nos diversos tipos de granitos da Jazida Rio dos Bugres (segundo Flores, 1998).

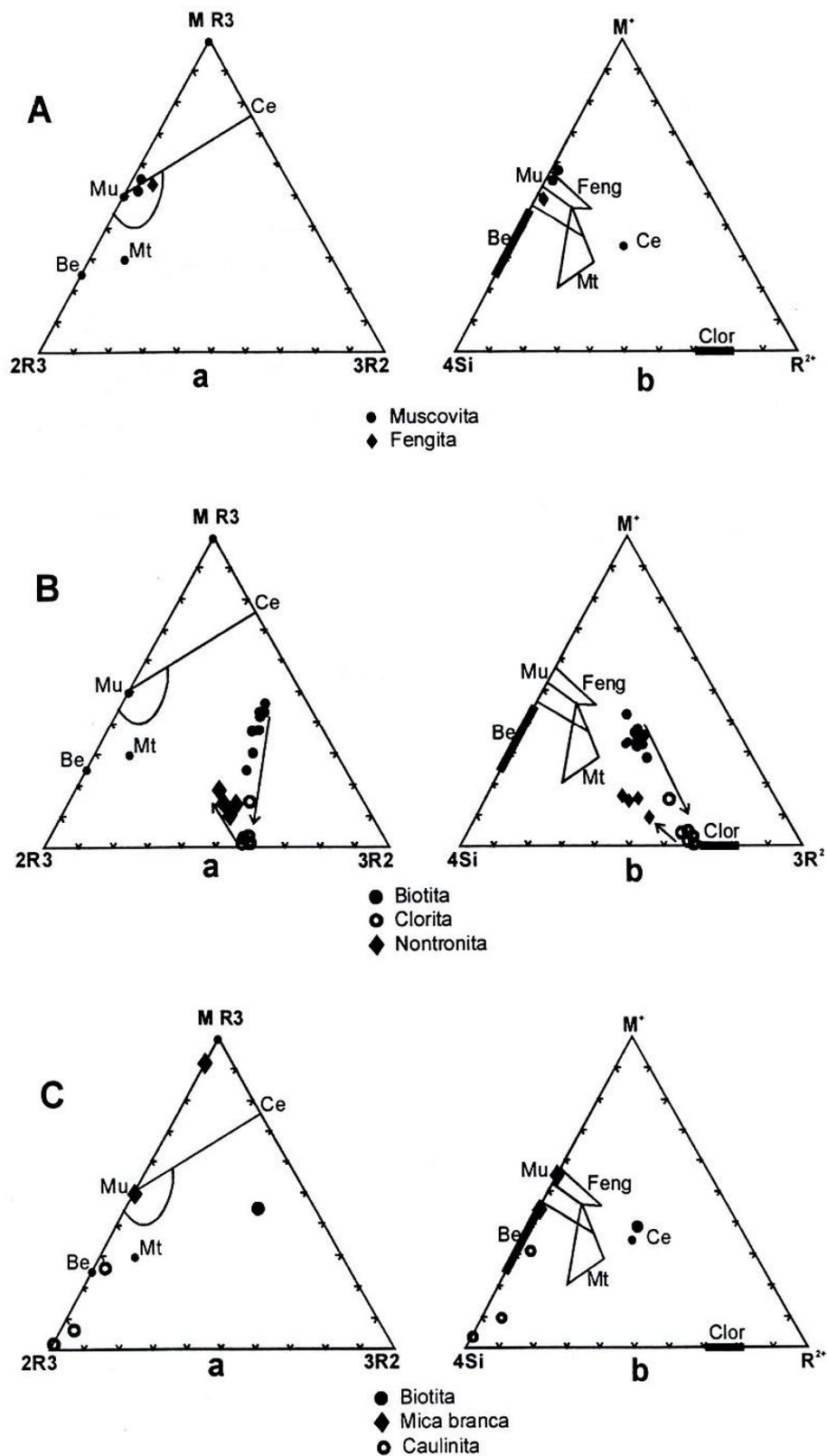


Figura II. 12. A) Minerais resultantes da alteração do plagioclásio e biotita. B) Dados analíticos da nontronita, biotita e clorita. C) Filossilicatos de um tonalito alterado por soluções relativas às mineralizações de fluorita (modificado de Flores, 1998).

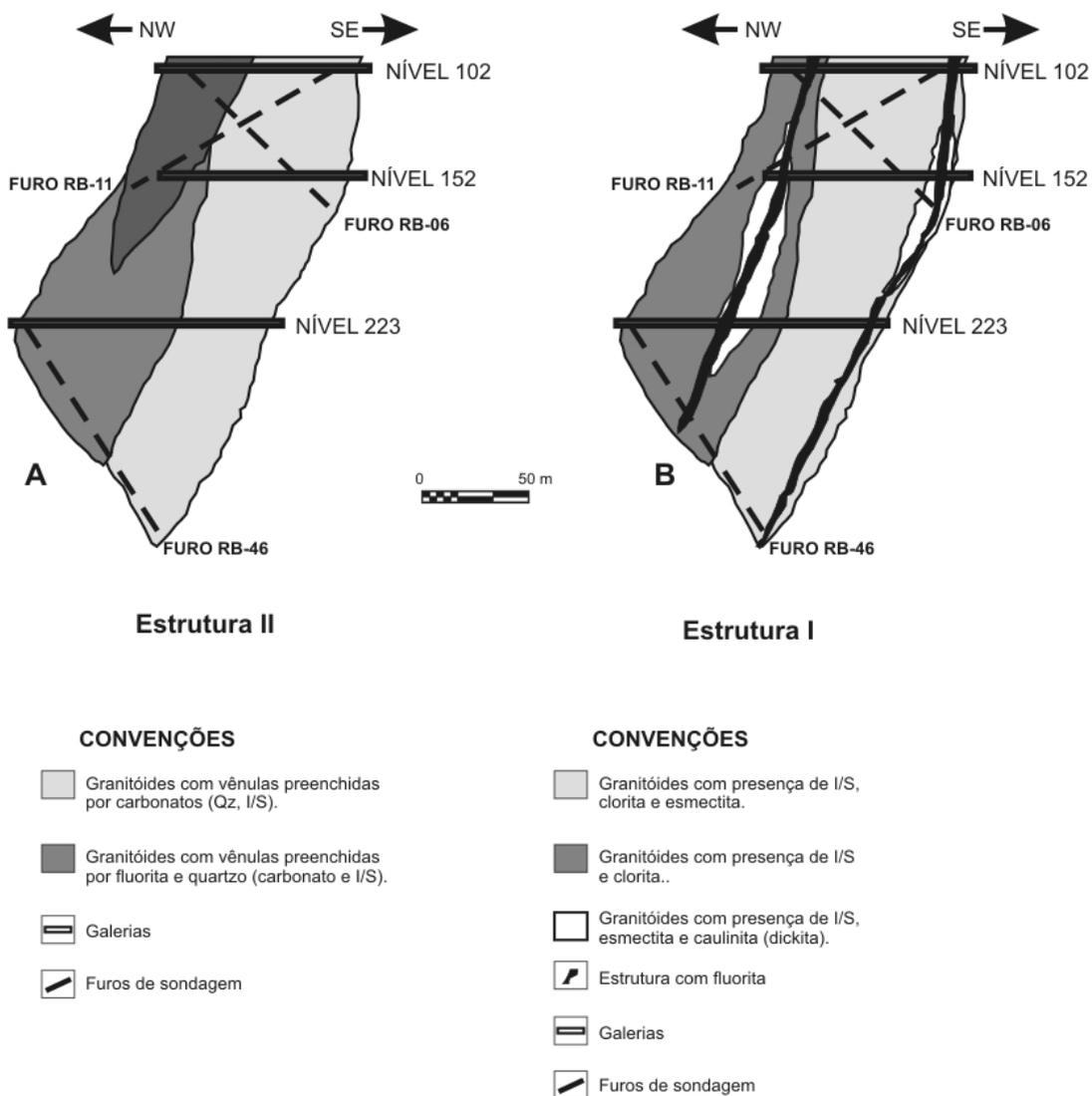


Figura II. 13. A) Distribuição dos componentes mineralógicos nas vênulas de segunda geração; B) Distribuição dos argilo-minerais nos granitóides encaixantes das mineralizações de fluorita (modificado de Flores, 1998).

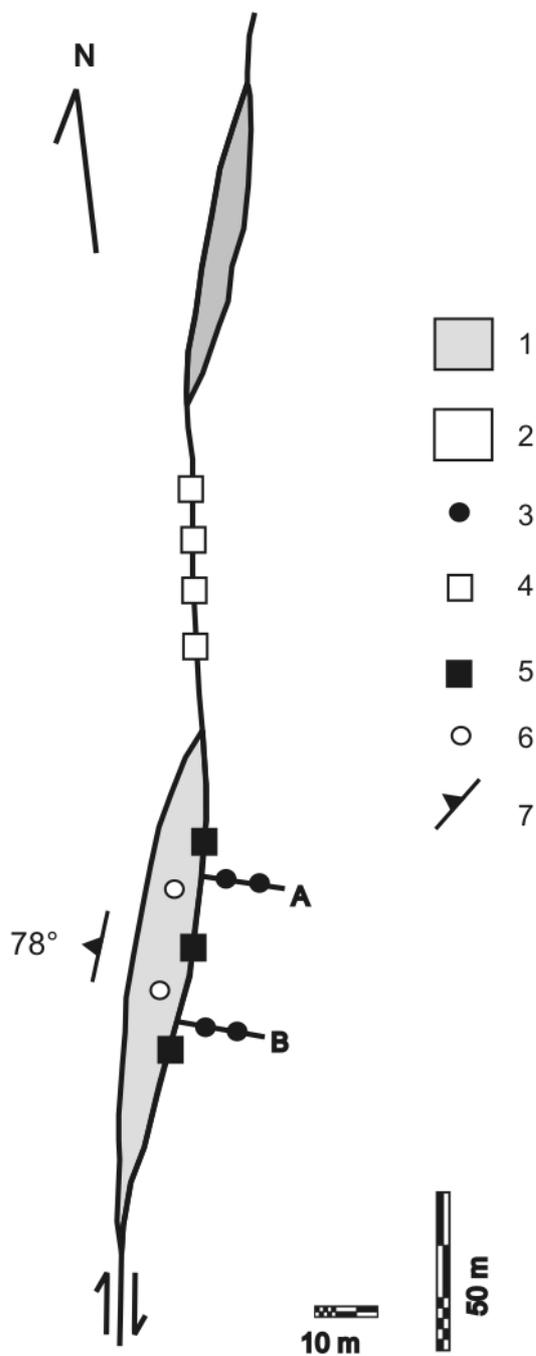


Figura II.14 - Mineralizações da Mina 2, nível 110: 1 - veio de fluorita; 2 - granitóide encaixante; 3 - amostras em perfis transversais fora dos veios; 4 - amostras da zona não mineralizada; 5 - amostras da transição granitóide/brecha silicosa com fluorita, 6 - amostras do veio de fluorita; 7 - atitude geral da lente sul (segundo Bastos Neto et al., 1997).

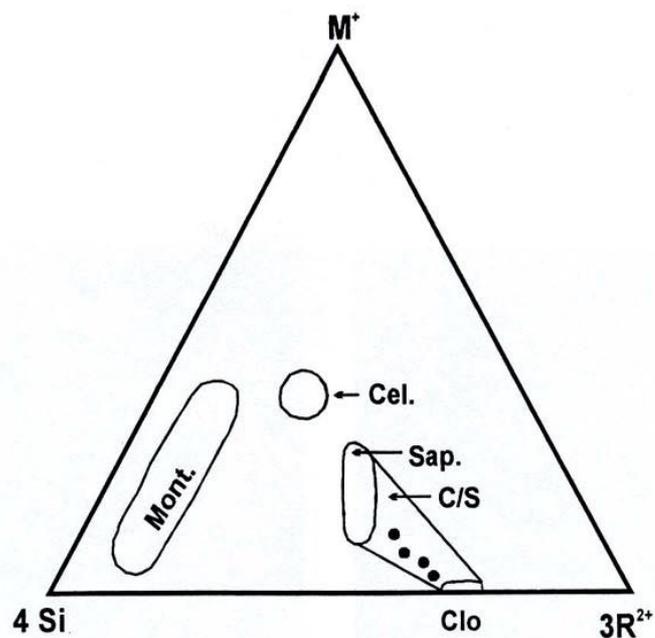


Figura II. 15. Diagrama  $4Si - M^+ - 3R^{2+}$ , da composição do interestratificado clorita/saponita, representando os campos da montmorilonita (mont), celadonita (cel), saponita (sap), interestratificado clorita/saponita (C/S) e clorita (clo) (Segundo Bastos Neto *et al.*, 1997).

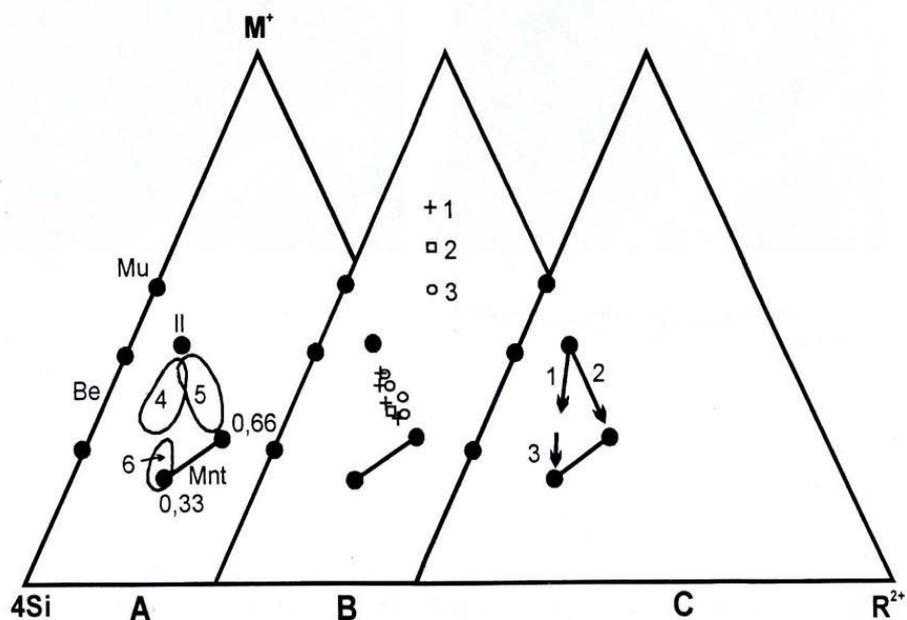


Figura II.16: Diagramas  $M^+ - 4Si - R^{2+}$  para interestratificados ilita/esmectita da rocha encaixante alterada na Mina 2. A) Estágios 4, 5 e 6; B) 1 – alteração de clorita, 2 – alteração de titanita e 3 – alteração de feldspato; C) Evolução dos interestratificados ilita/esmectita, sendo mu – muscovita, Be – bedeleíta, Il – ilita e Mnt – montmorilonita (Bastos Neto *et al.*, 1997).

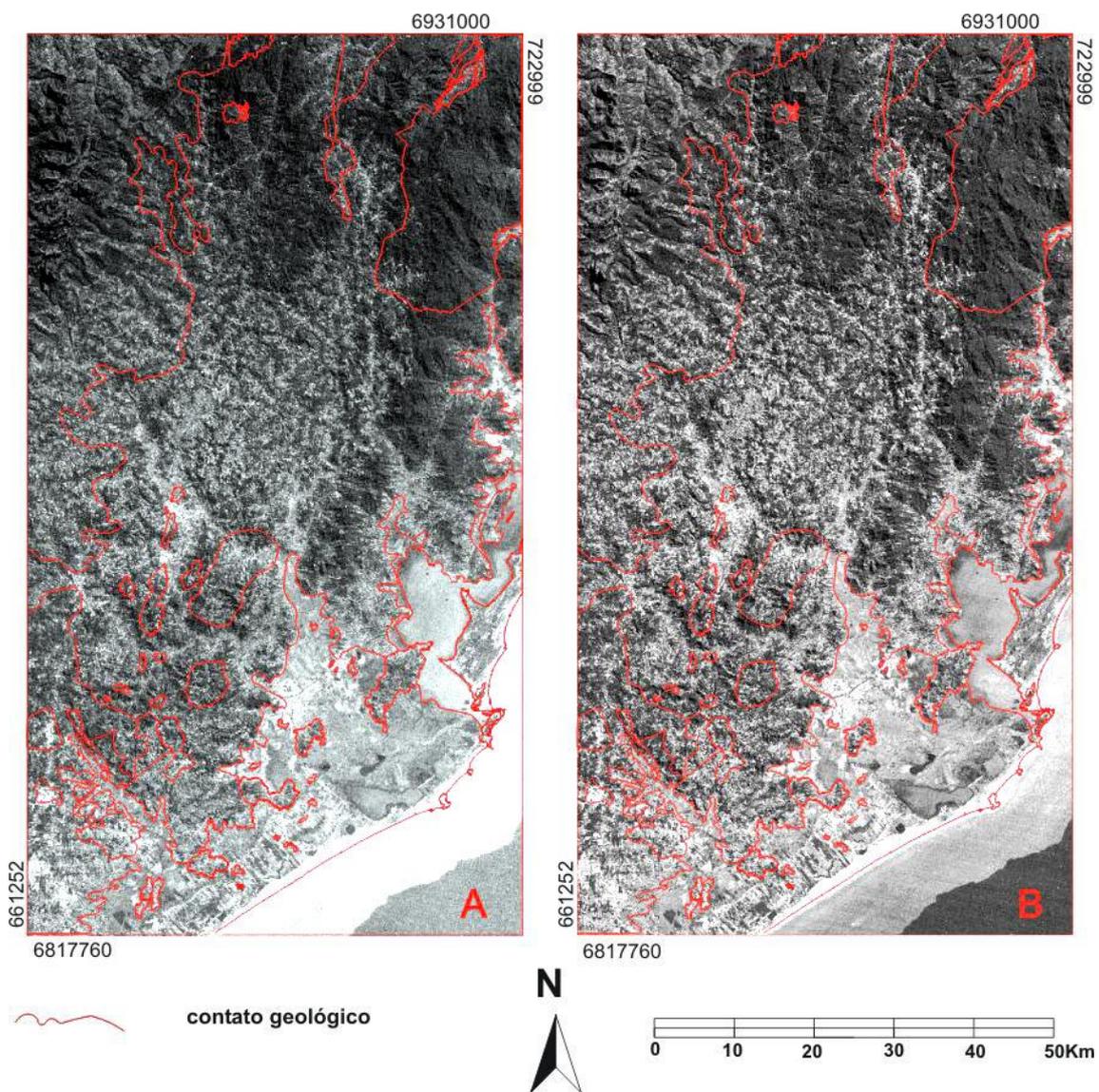


Figura IV.1: Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste, A) TM1 e B) TM2.

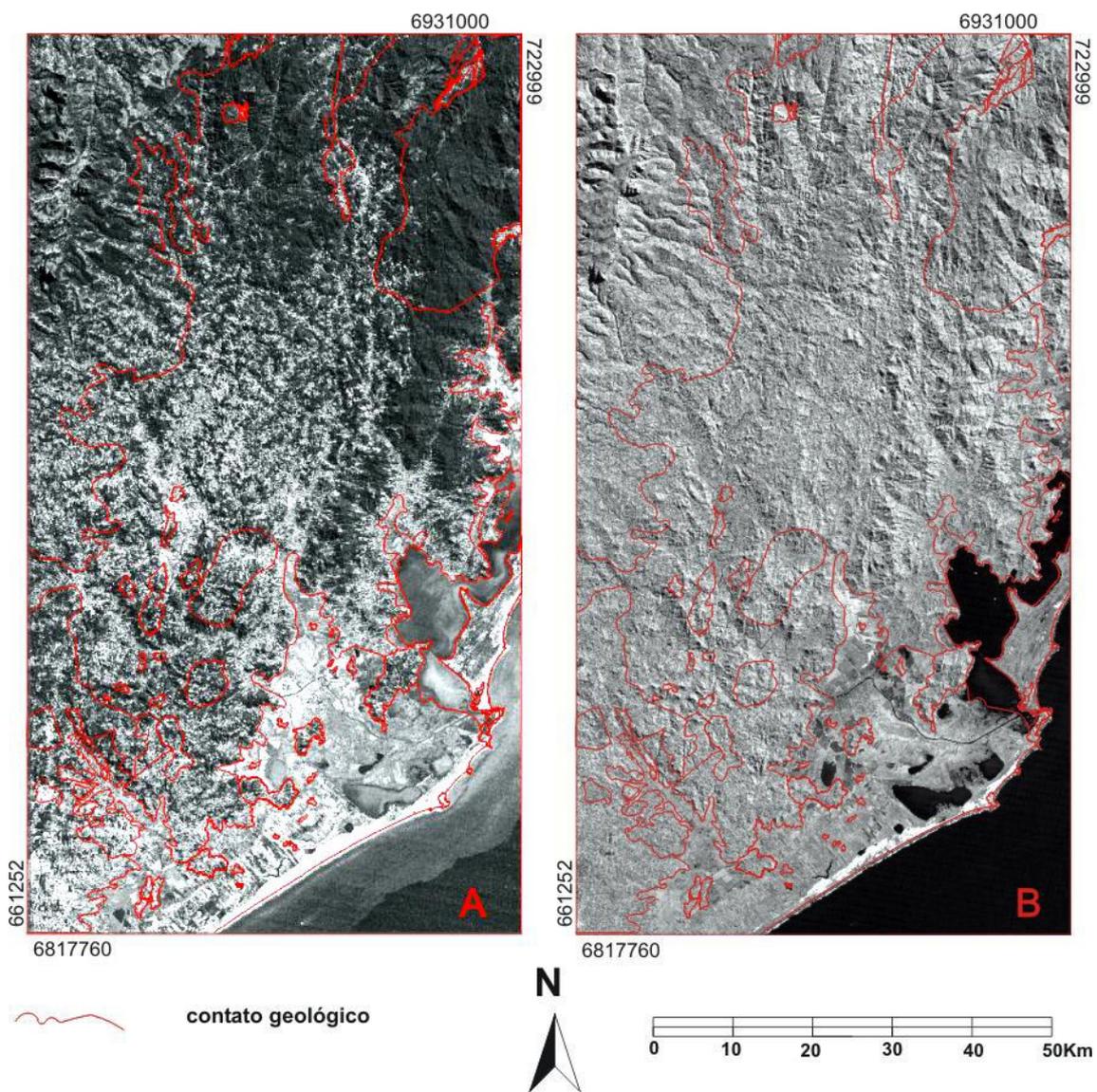


Figura IV.2: Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste, A) TM3 e B) TM4.

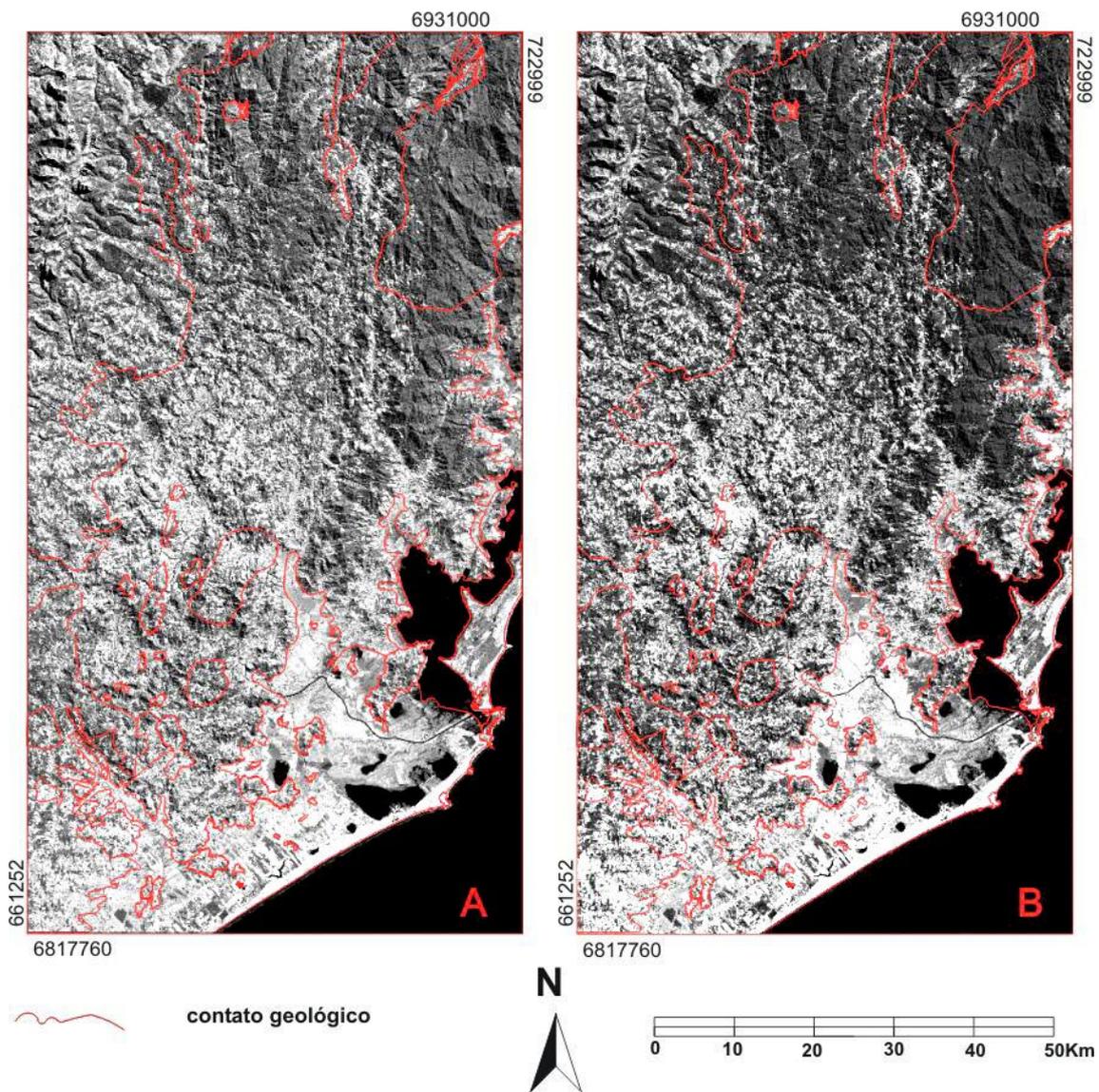


Figura IV.3: Bandas espectrais do TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste, A) TM5 e B) TM7.

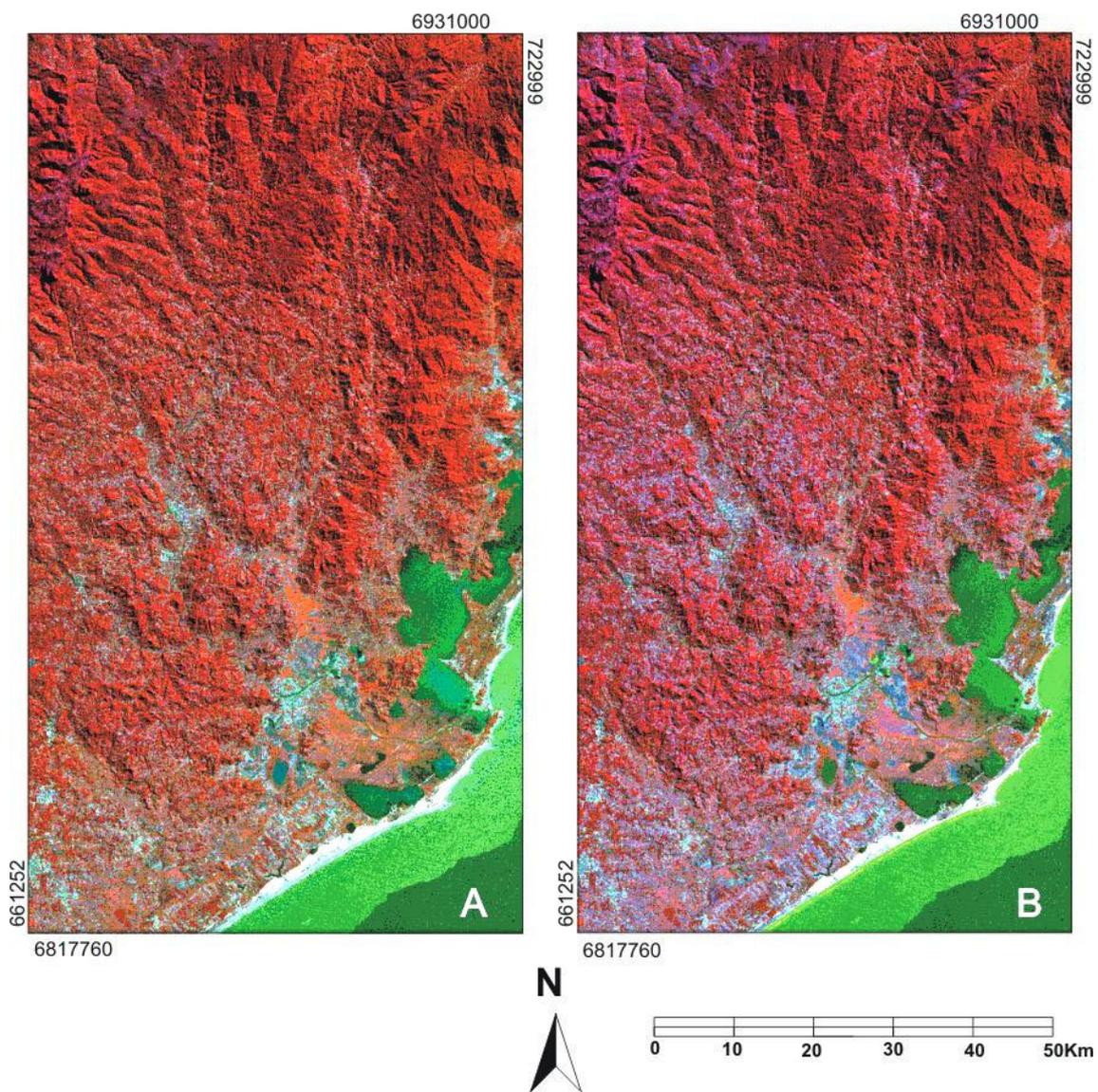


Figura IV.4: Composições coloridas dos tripletes entre as bandas 1-4-3 e 1-4-7 TM LANDSAT 5. R4G1B3 e R4G1B7

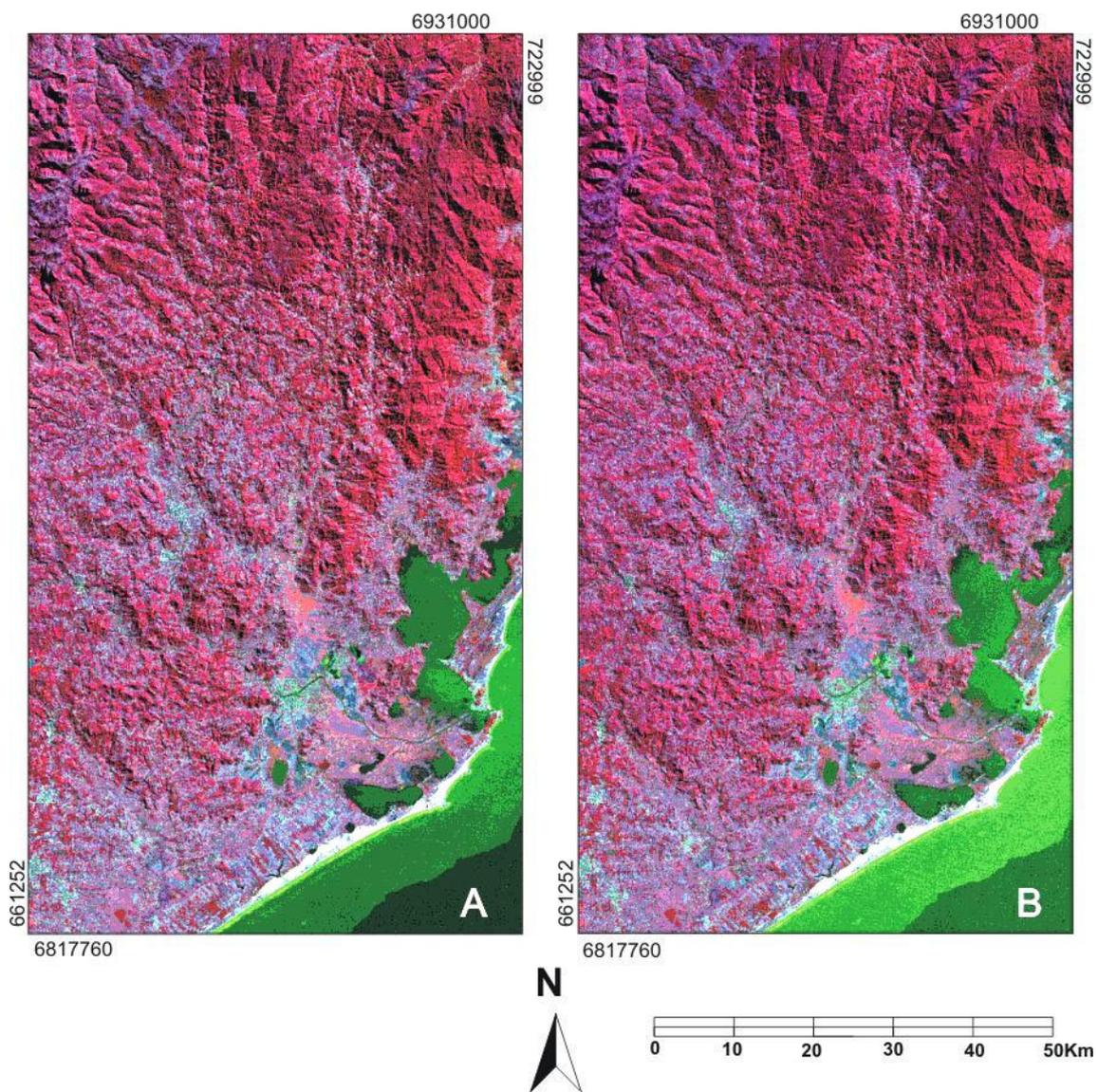


Figura IV.5. Composições coloridas dos tripletes entre as bandas TM LANDSAT 5.  
A) R4G1B5 e B) R4G2B5.

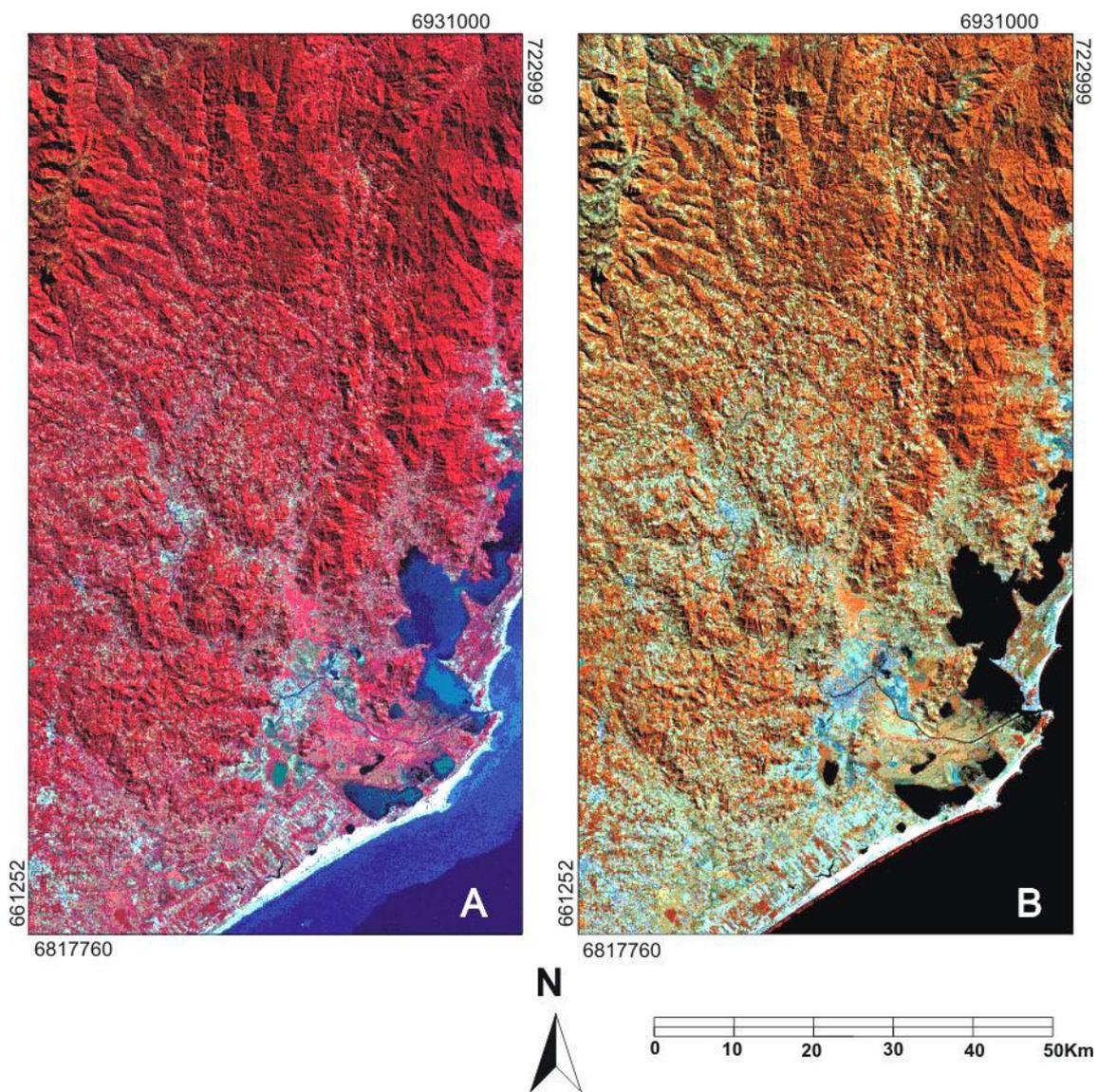


Figura IV.6. Composições coloridas dos tripletes entre as bandas TM LANDSAT 5.  
A) R4G3B1 e B) R4G5B7.

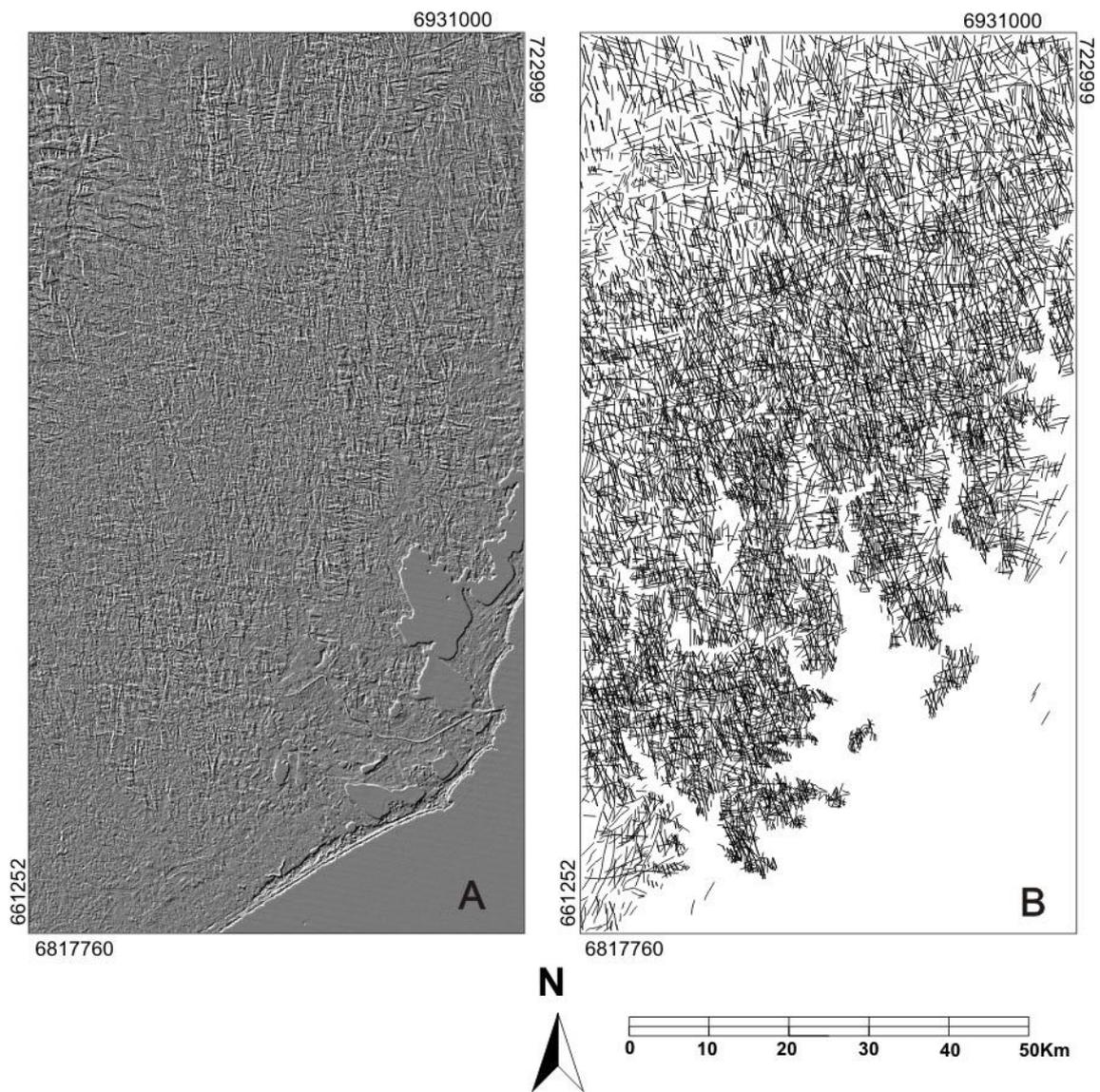


Figura IV.7. Imagens TM LANDSAT 5 com aplicação de filtragem multidirecional sobre a banda TM4 (A) e morfo-estruturas extraídas da imagem filtrada (B).

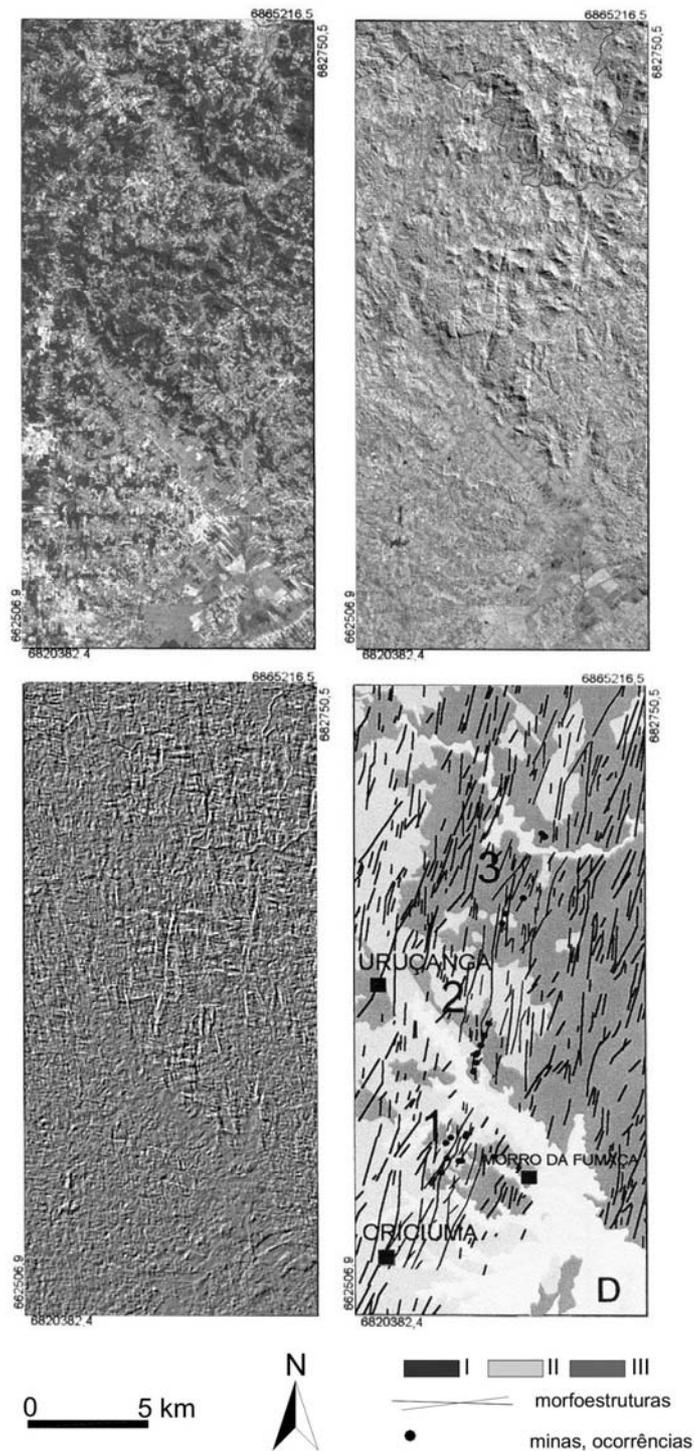


Figura IV.8. Detalhe da porção Sul do DFSC - Lineamento Canela Grande. A) Banda TM3 mostrando uso do solo; B) Banda TM4 exibindo morfo-estruturas; C) Banda TM4 com filtragem multidirecional, destacando morfo-estruturas. D) Morfoestruturas obtidas pela imagem filtrada, mostrando estruturas N0°-30°Ee o Lineamento Canela Grande. I - Sedimentos quaternários; II - Rochas sedimentares (Bacia do Paraná); III - Rochas granitóides.

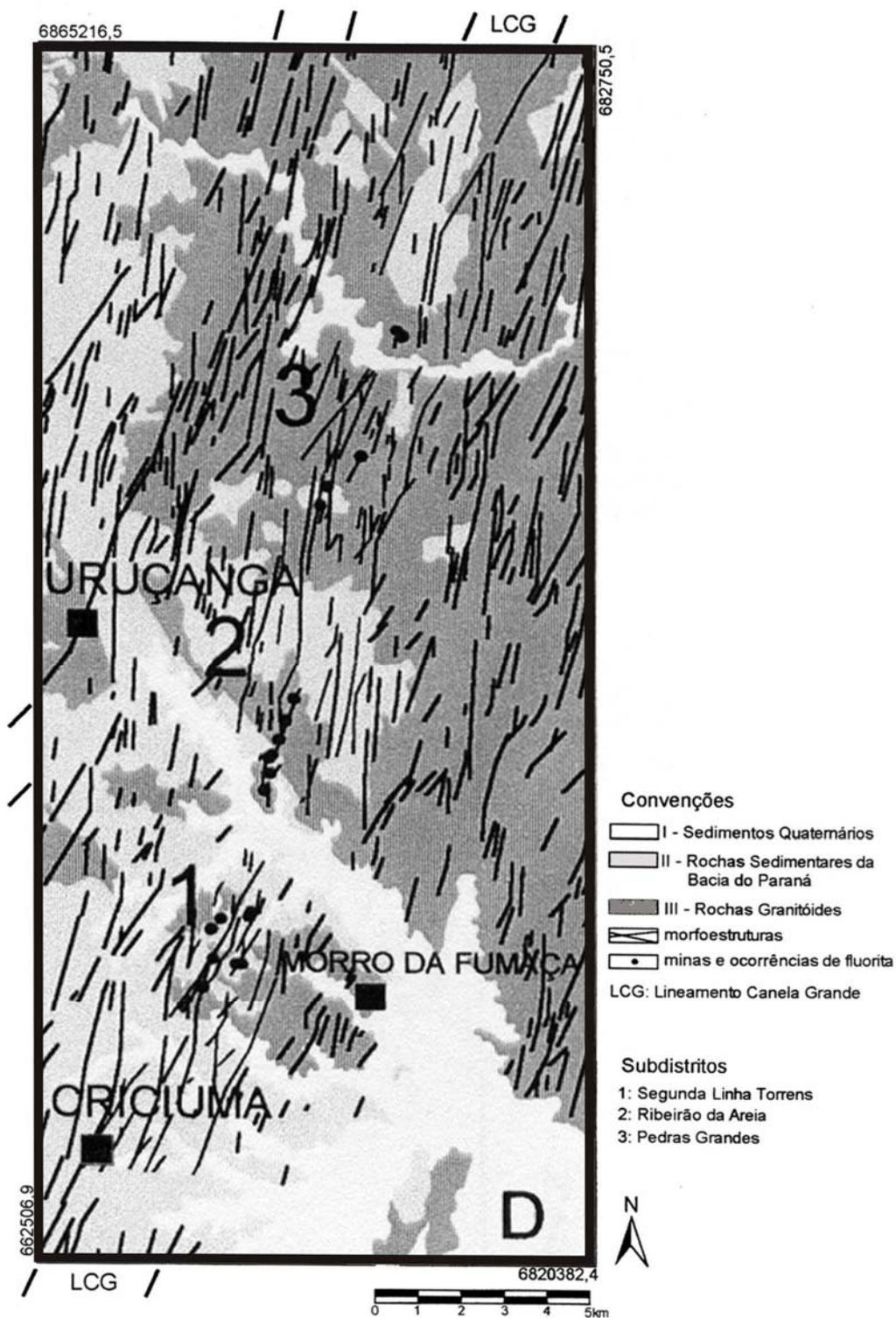


Figura IV.9. Morfo-estruturas obtidas pela imagem filtrada, mostrando as estruturas  $N0^{\circ}-30^{\circ}E$  e o lineamento Canela Grande.

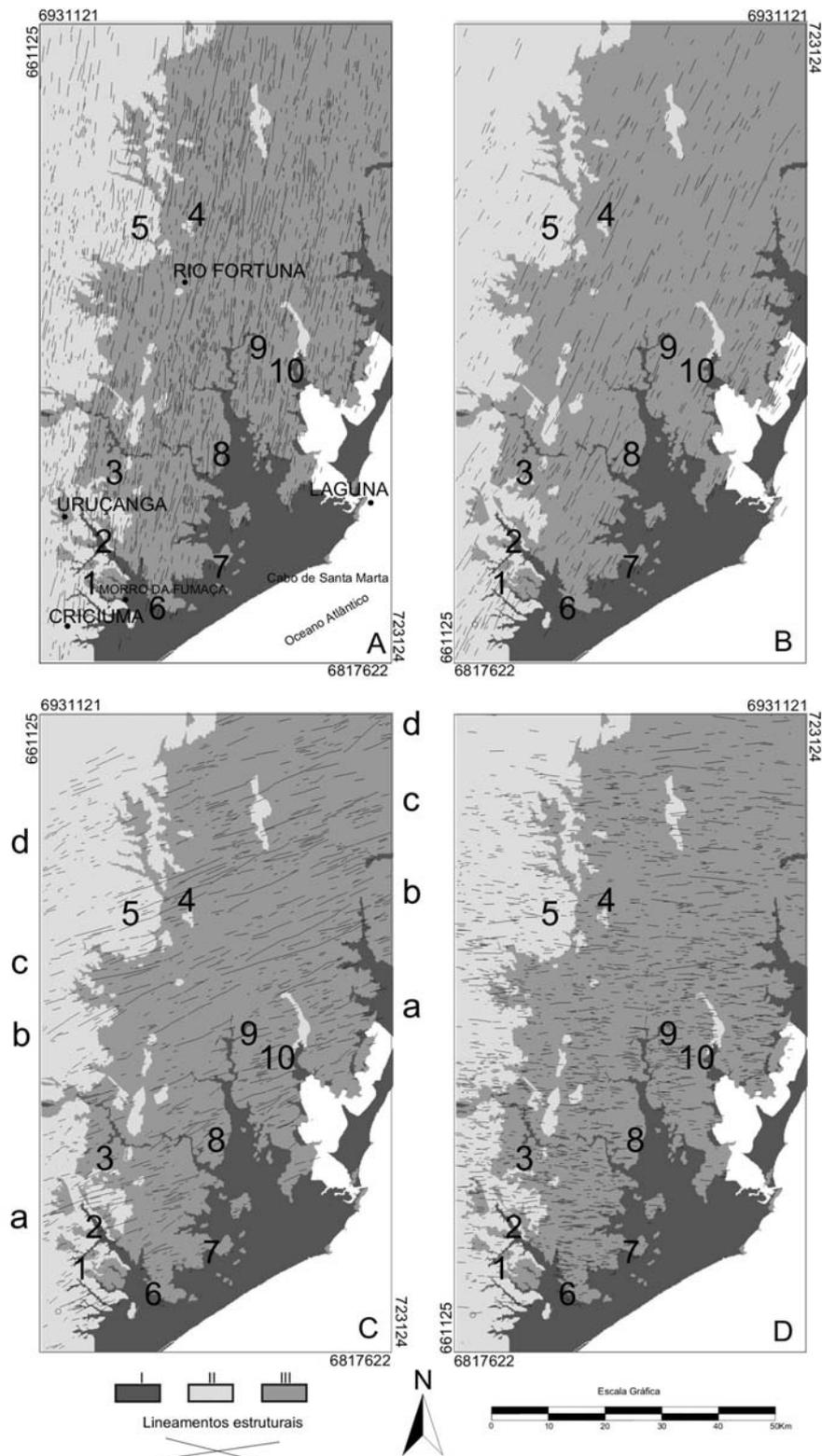


Figura IV.10. Classificação das estruturas do DFSC segundo a direção. Os números correspondem aos sub-districtos e filões indicados na Figura II.3. A) NNE:  $N0^{\circ}-20^{\circ}E$ ; NE1:  $N20^{\circ}-45^{\circ}E$ ; NE2:  $N45^{\circ}-80^{\circ}E$ ; ENE:  $N80^{\circ}-90^{\circ}E$ . I: Sedimentos quaternários; II: Bacia do Paraná; III: Granitóides.

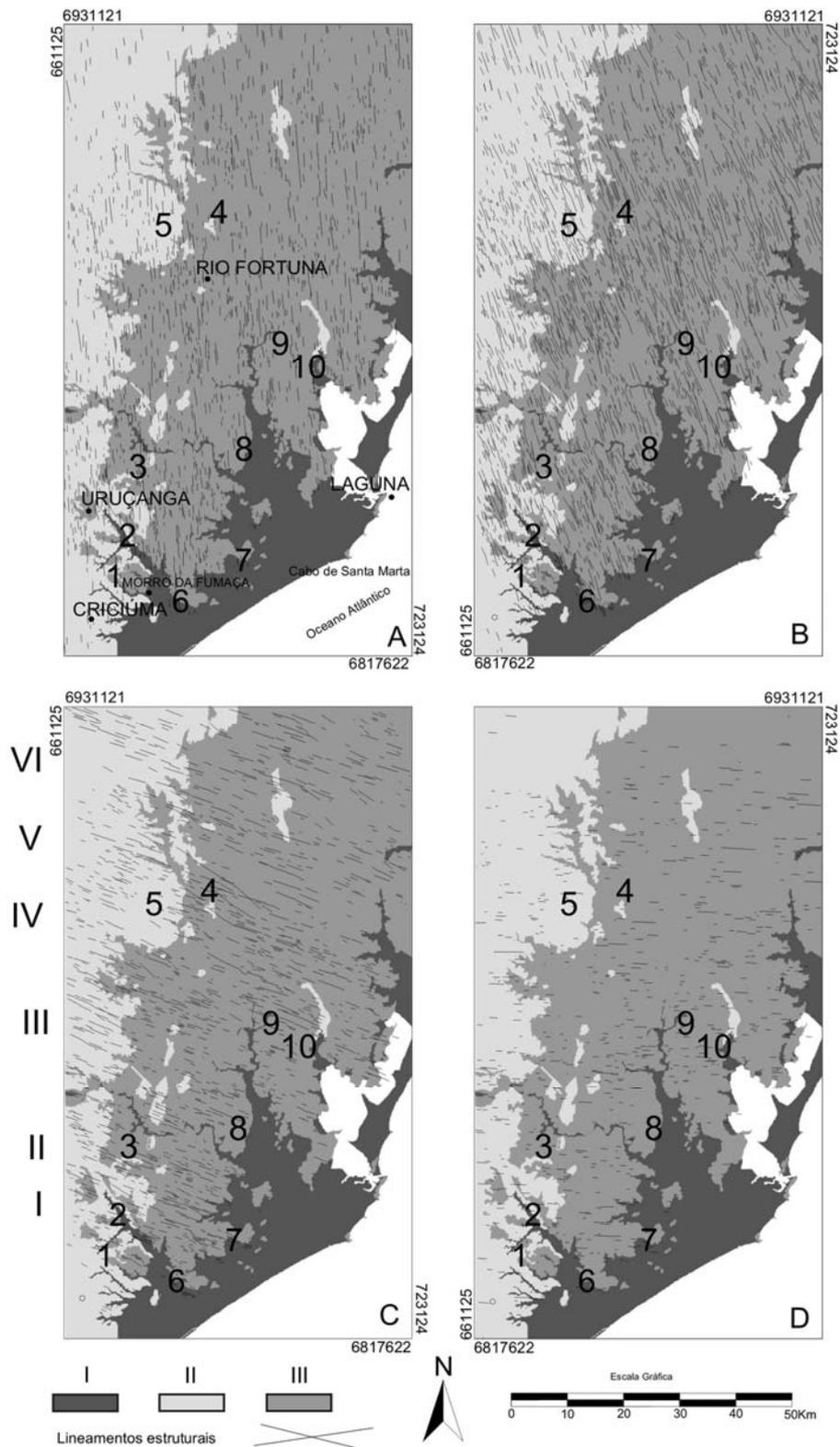


Figura IV.11. Classificação das estruturas do DFSC segundo a direção. Os números correspondem aos sub-distritos e filões indicados na Figura II.3. A) NNW:  $N0^{\circ}-10^{\circ}W$ ; NW1:  $N10^{\circ}-45^{\circ}W$ ; NW2:  $N45^{\circ}-80^{\circ}W$ ; WNW:  $N80^{\circ}-90^{\circ}W$ . I: Sedimentos quaternários; II: Bacia do Paraná; III: Granitóides.

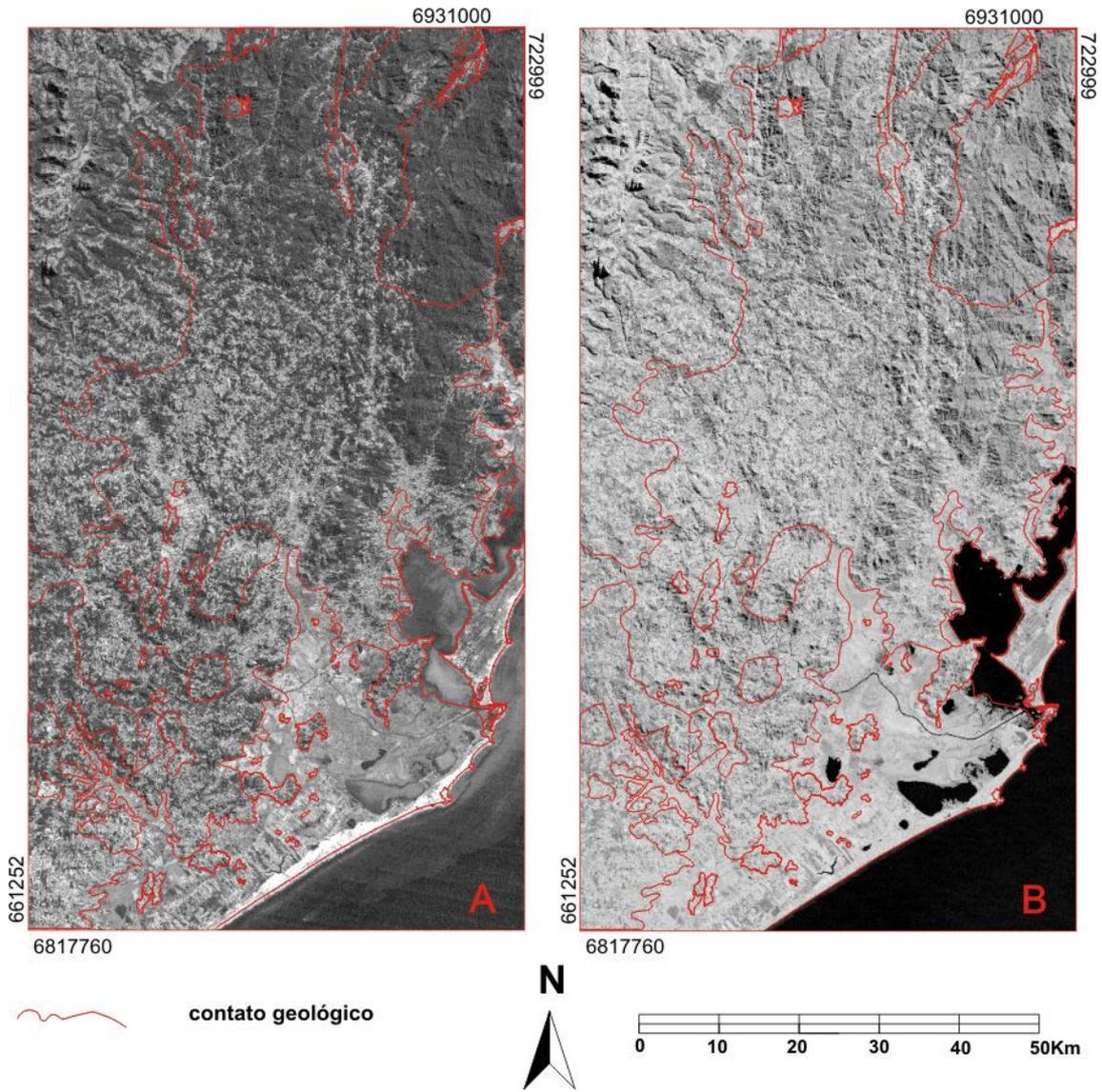


Figura IV. 12 - Razões combinadas entre bandas TM LANDSAT 5: 3/1 e 5/1  
.A) 3-1/3+1. B) 5-1/5+1.

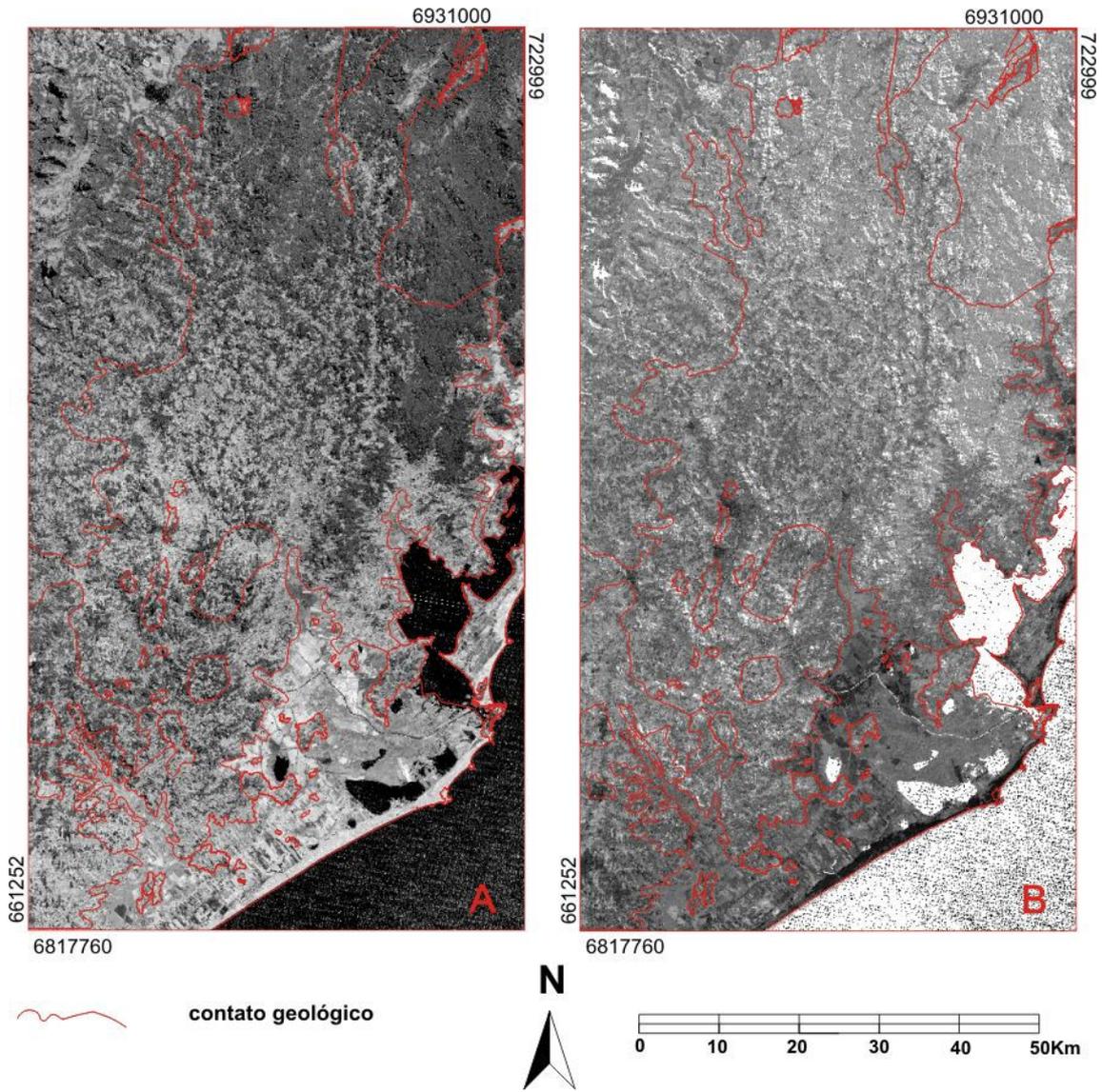


Figura IV. 13 - Razões combinadas entre bandas TM LANDSAT 5: 5/4 e 5/7.  
A) 5-4/5+4. B) 5-7/5+7.

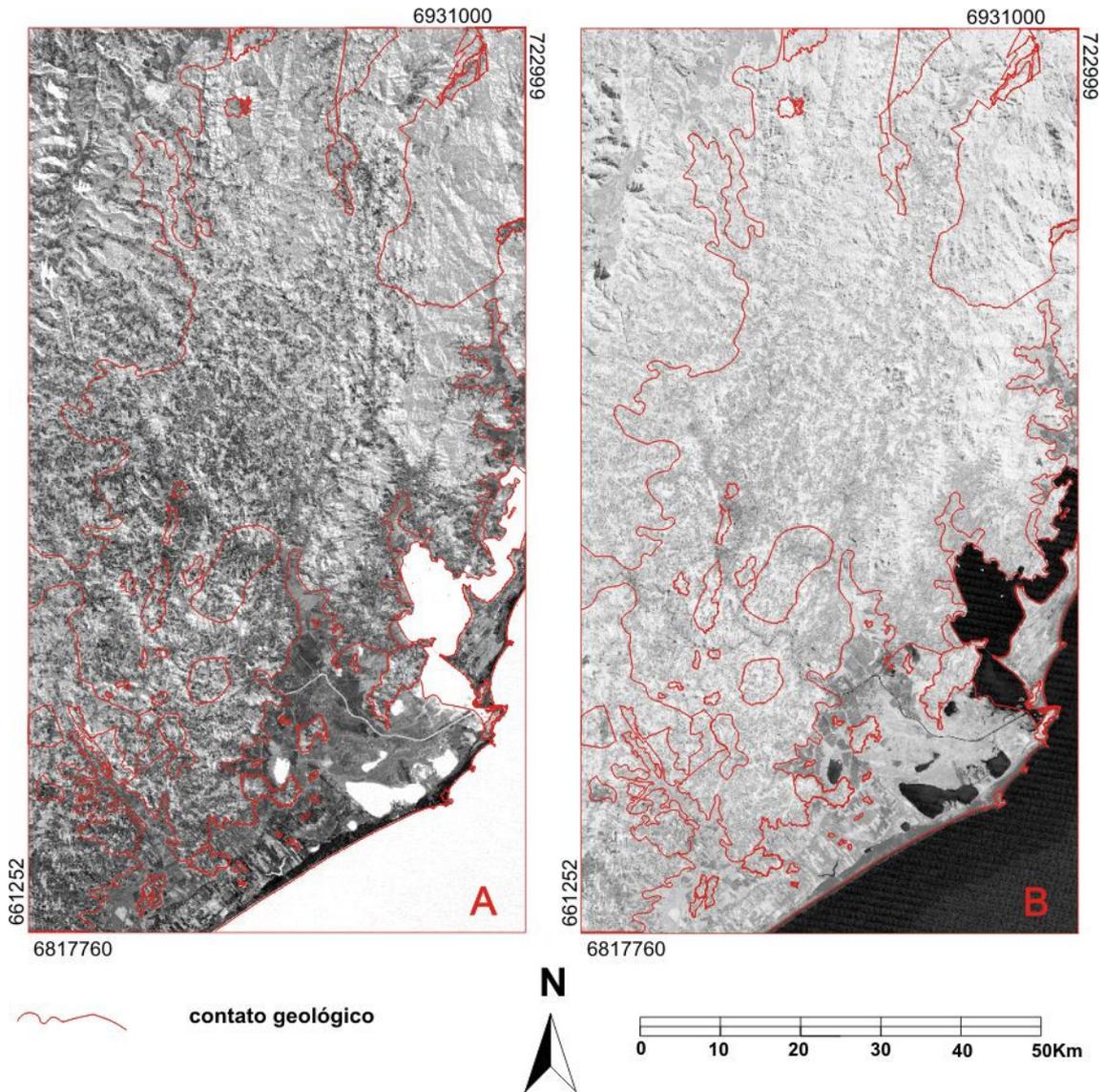


Figura IV. 14 - Razões combinadas entre bandas TM LANDSAT 5: 1/7 e 4/3. A) 1-7/1+7. B) 4-3/4+3.

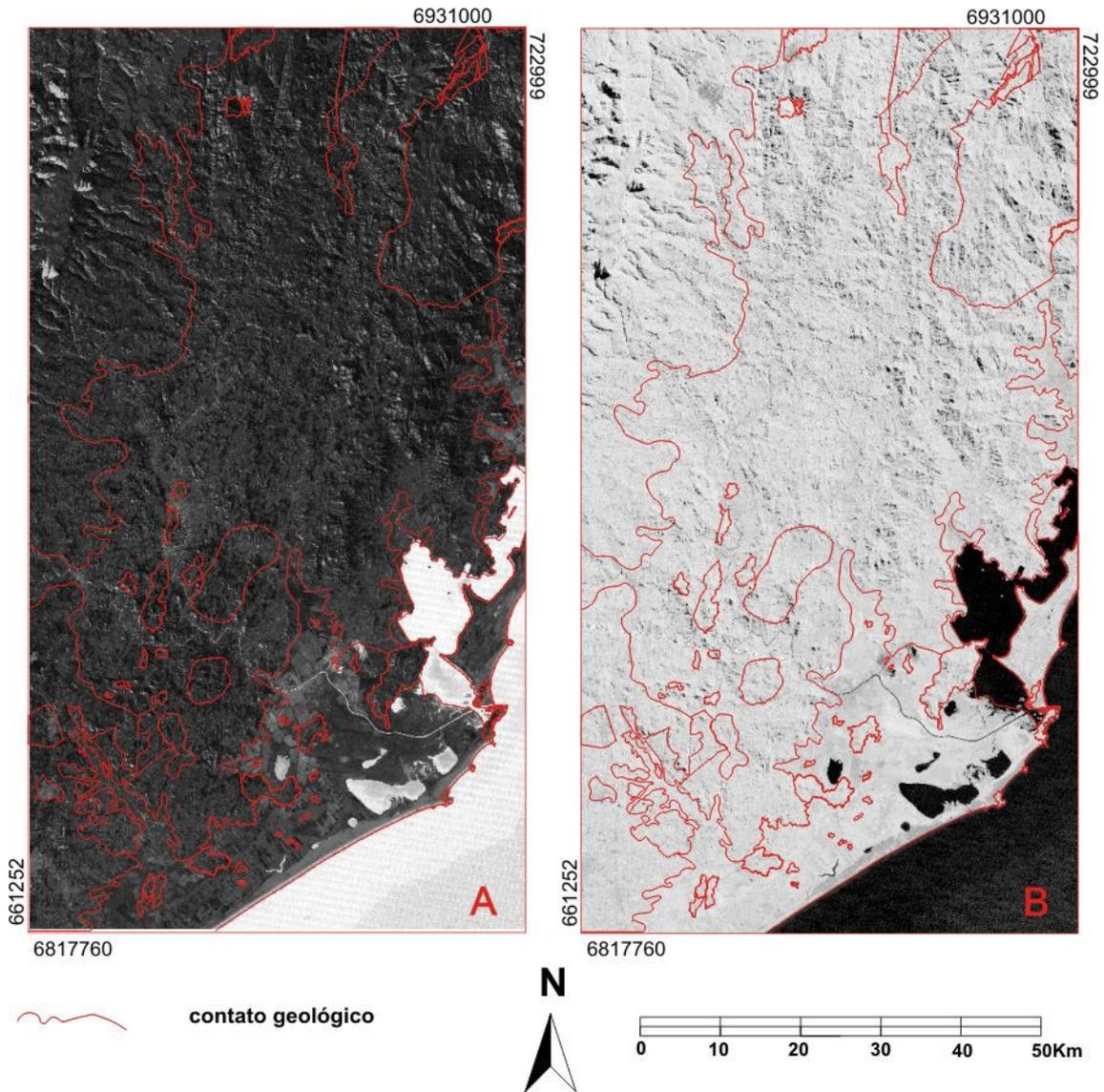


Figura IV. 15 - Razões combinadas entre bandas TM LANDSAT 5: 2/4 e 5/3.  
A) 2-4/2+4. B) 5-3/5+3.

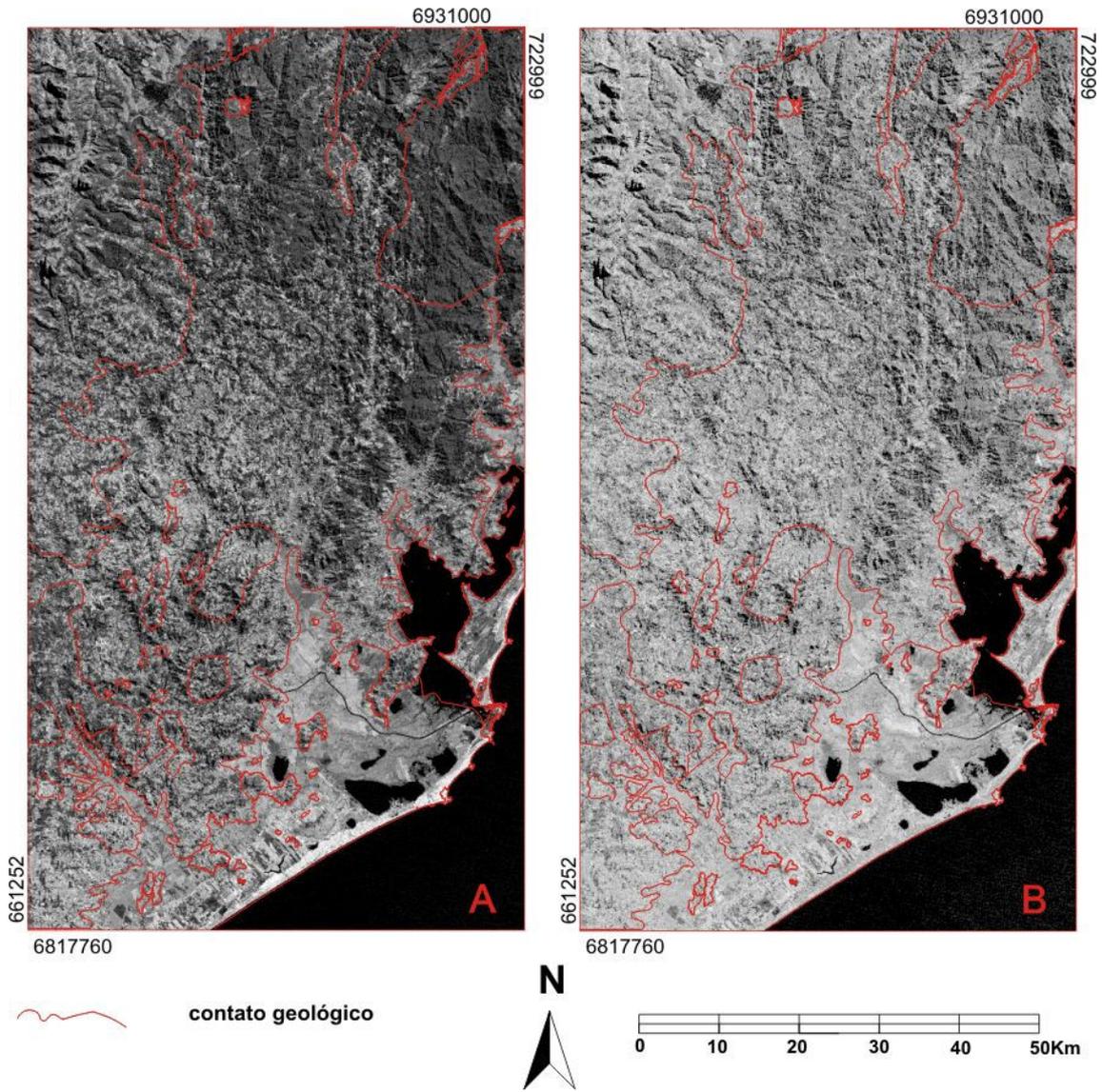


Figura IV. 16 - Razões combinadas entre bandas TM LANDSAT 5: 7/1 e 7/3. .  
A) 7-1/7+1. B) 7-3/7+3.

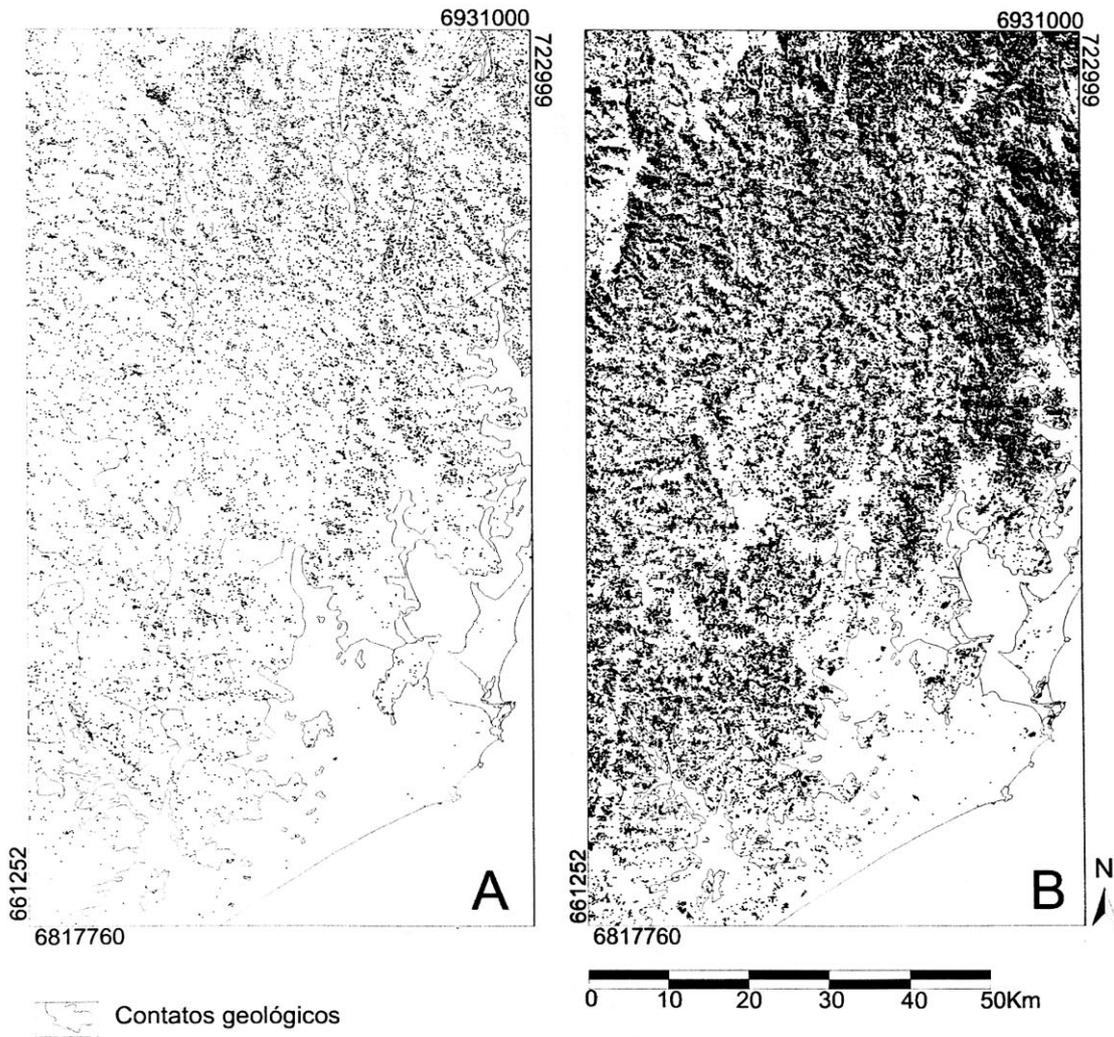


Figura IV.17. Processamentos sobre razões de bandas TM LANDSAT 5.

A) Razão 4/3 reclassificada - Solos e rochas expostos.

B) CRCI das razões entre as bandas  $R = 2/4 \cdot 7$ ,  $G = 5/7 \cdot 3$  e  $B = 5/3 \cdot 7$ .

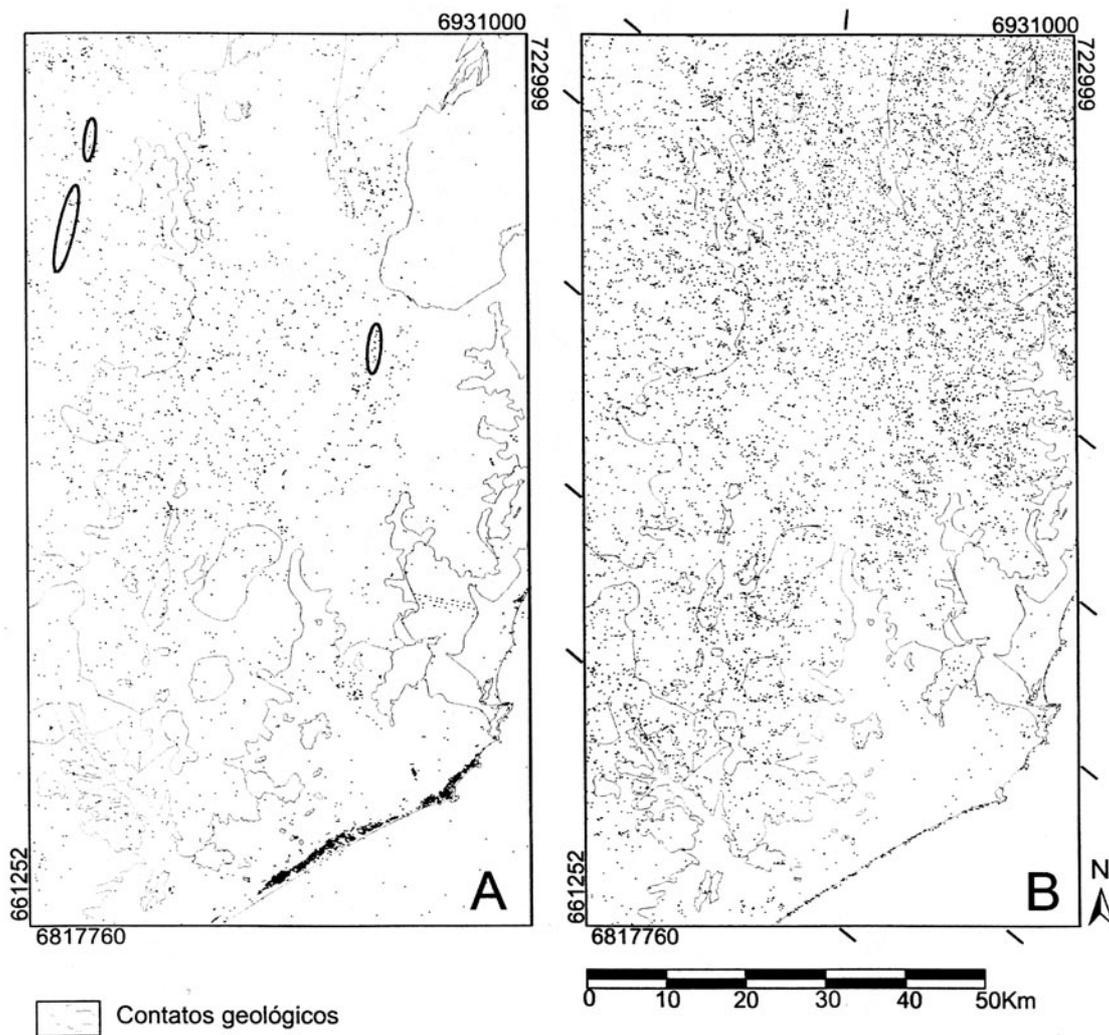


Figura IV.18. Razões de bandas TM LANDSAT 5 reclassificadas.

A) Operação das razões 3/1+5/1+5/4 - óxidos e hidróxidos de ferro.

B) Razão 5/7 - argilo-minerais.



Figura IV.19. Razão 1/7 TM LANDSAT 5 reclassificada.

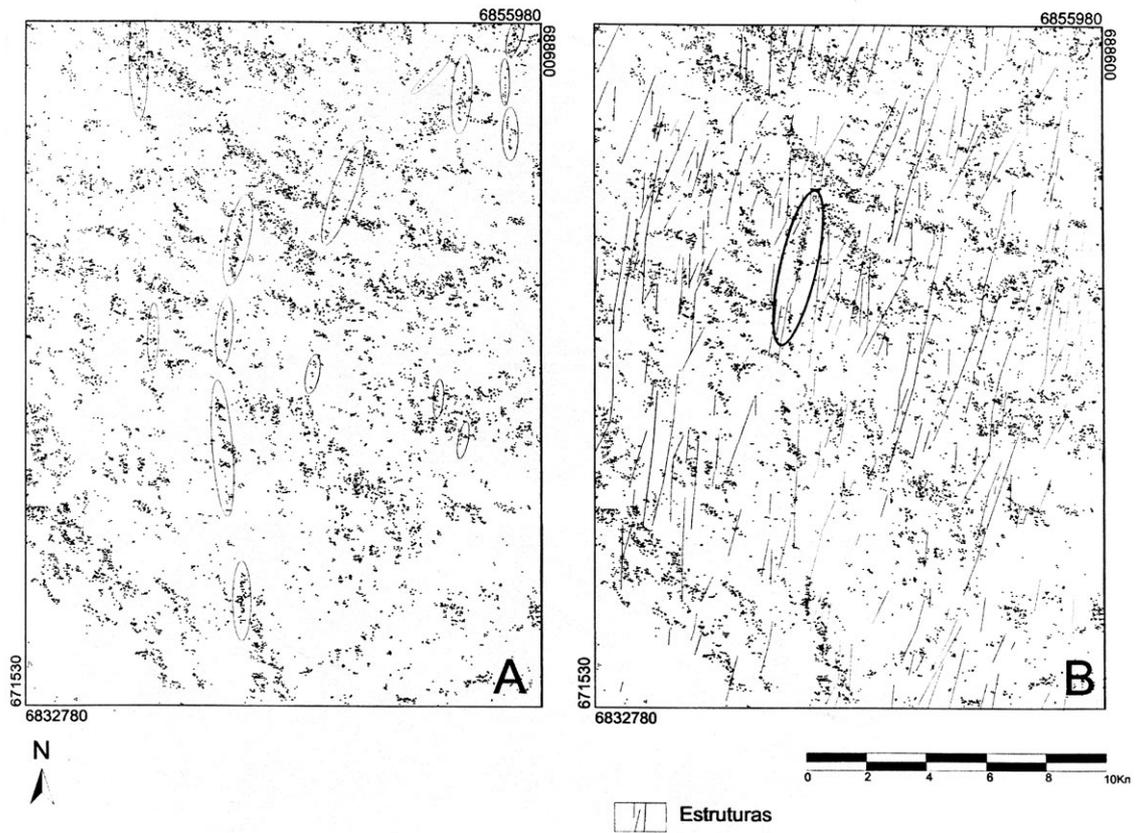


Figura IV.20. Detalhe da razão 1/7 – argilo-minerais feita sobre TM LANDSAT 5.  
A) Agrupamento dos pixels; B) agrupamentos com as estruturas.

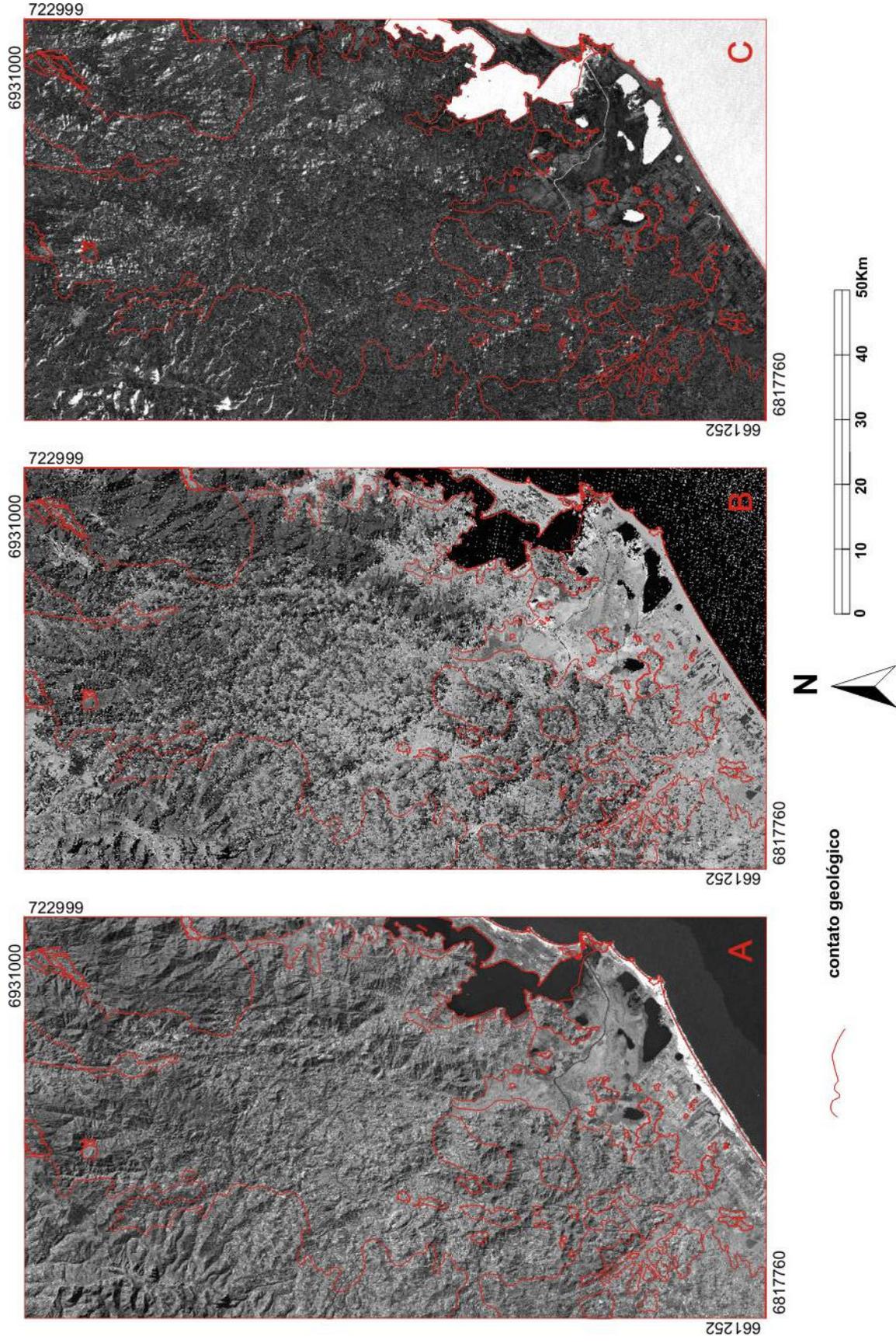


Figura IV. 21 - Aplicação da transformação IHS sobre as bandas 1-4-5 TM LANDSAT 5. Imagens I (A), H (B) e S (C) com aumento linear de contraste.

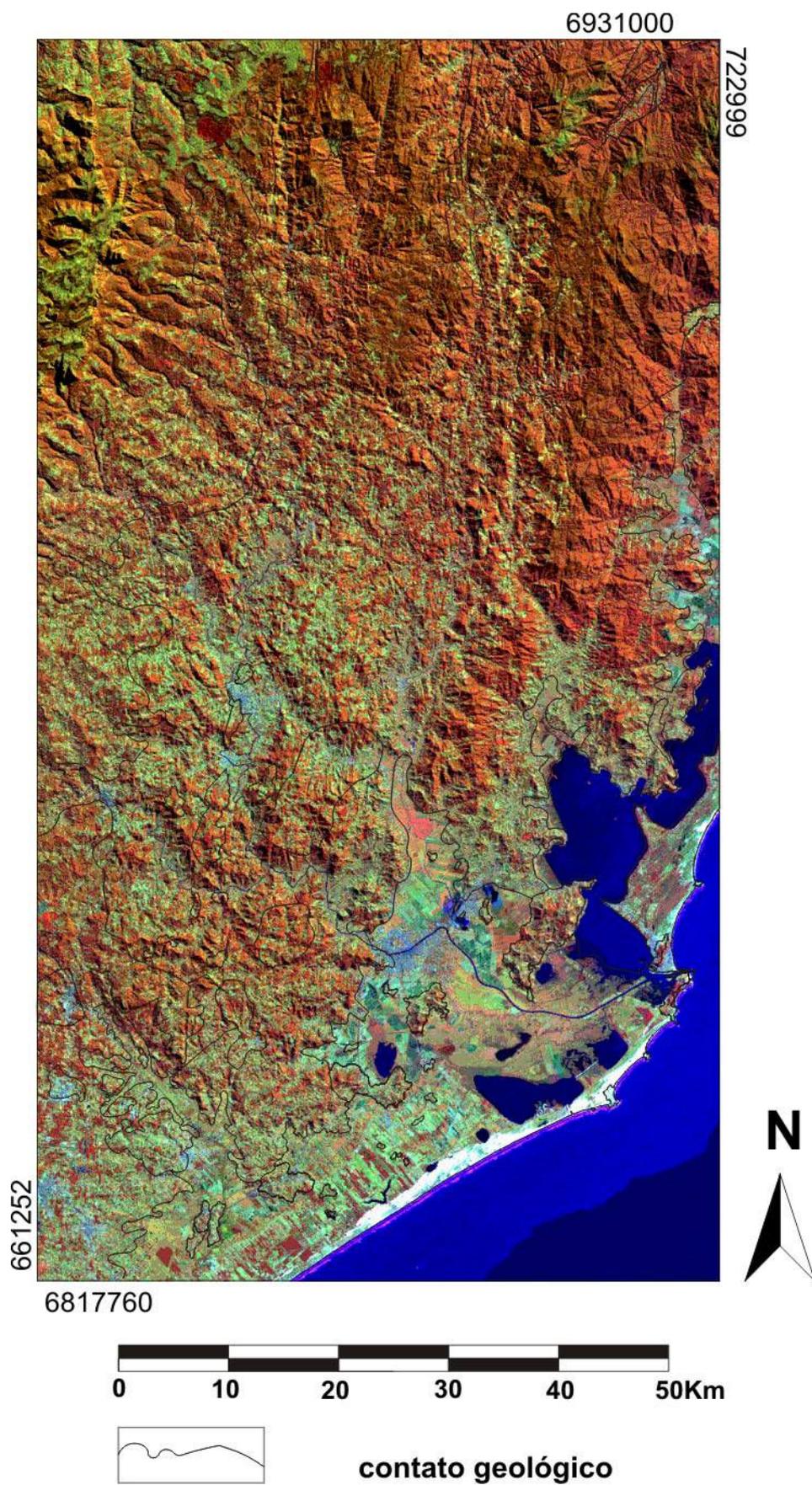


Figura IV. 22 - Aplicação de transformação IHS sobre bandas TM LANDSAT 5 TM1-TM4-TM5.

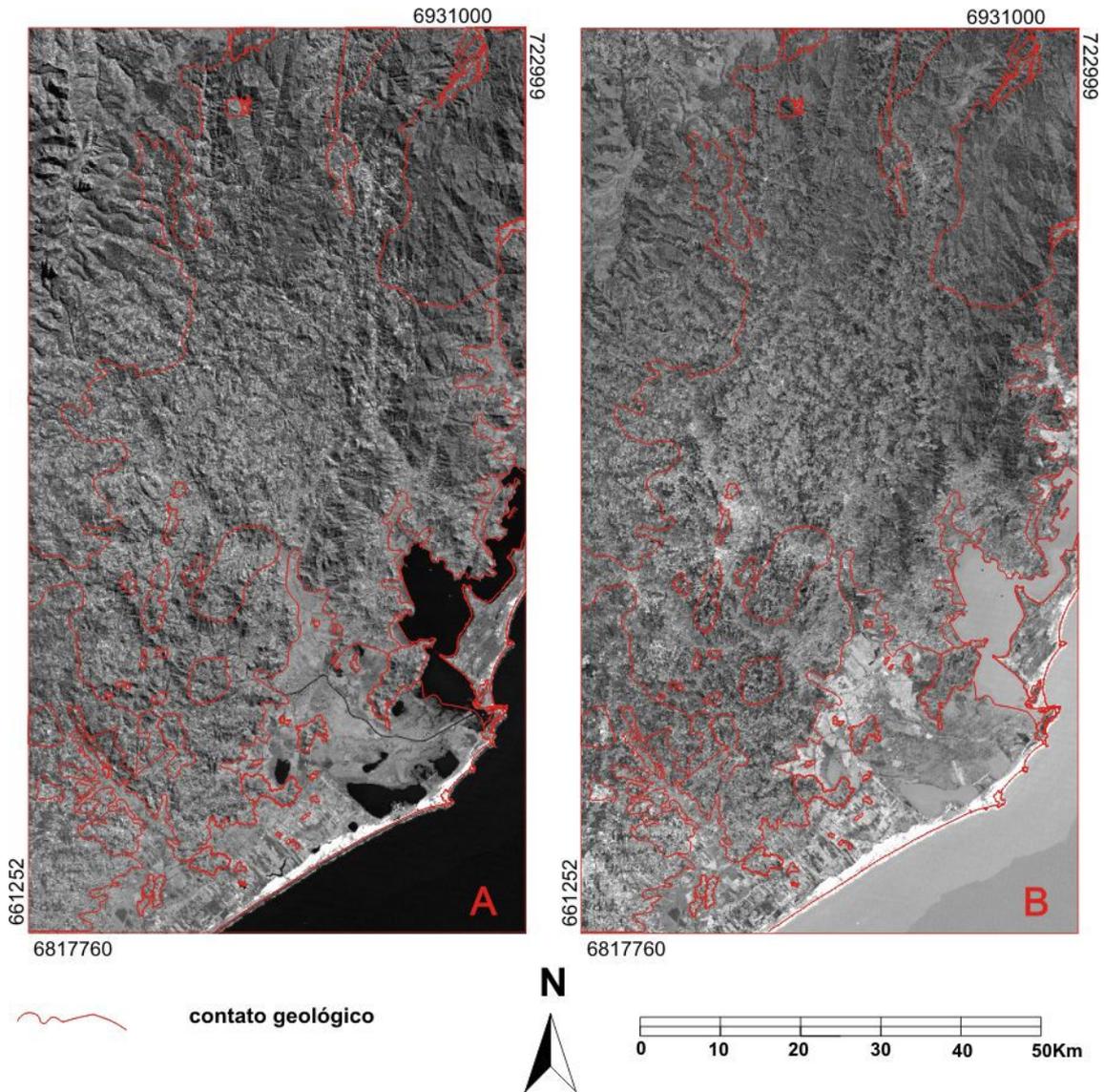


Figura IV.23 - APC feita sobre seis bandas TM LANDSAT 5. A) PC1 e B) PC2 com aumento linear de contraste.

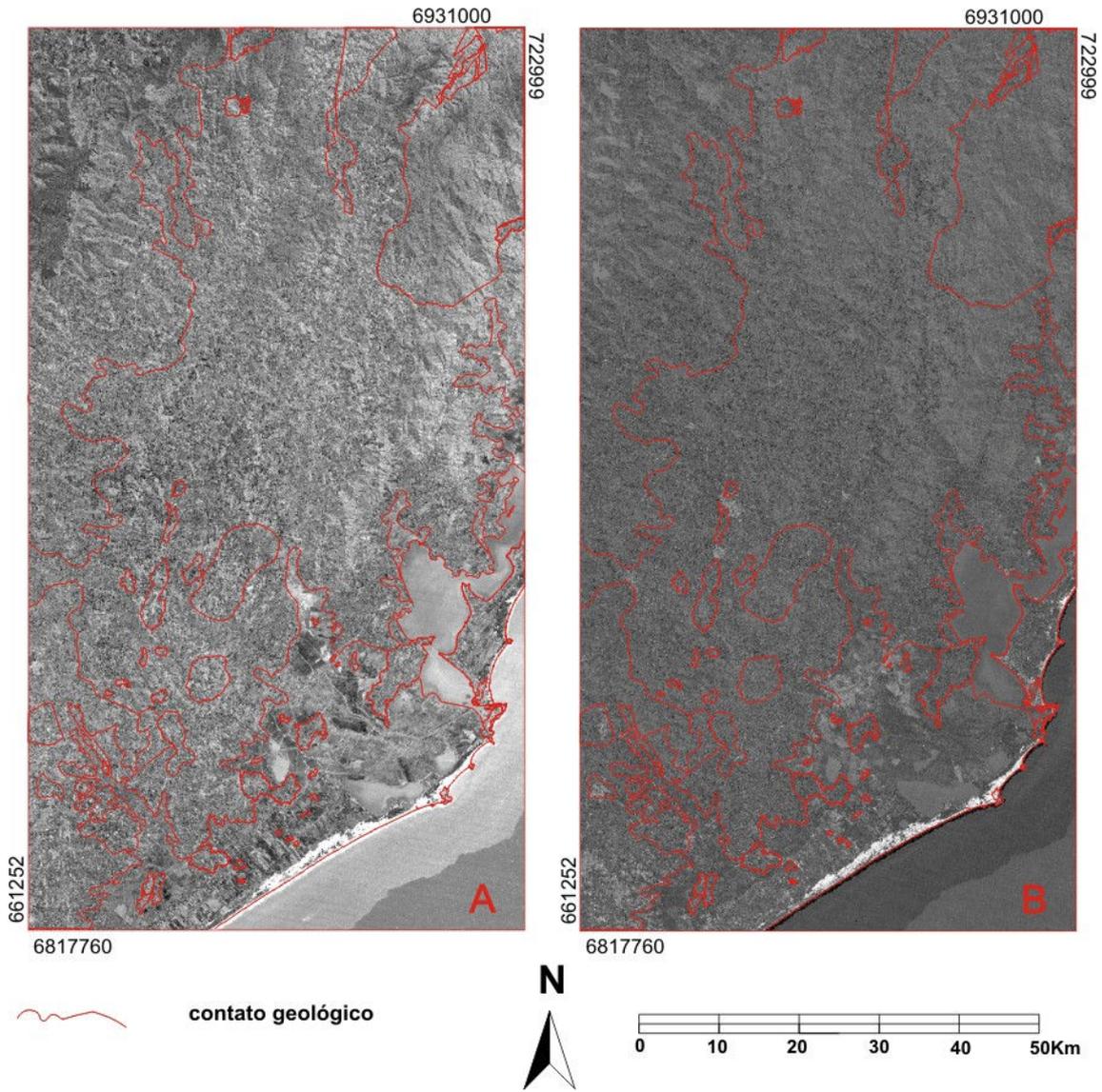


Figura IV.24 - APC feita sobre seis bandas TM LANDSAT 5. A) PC3 e B) PC4 com aumento linear de contraste.

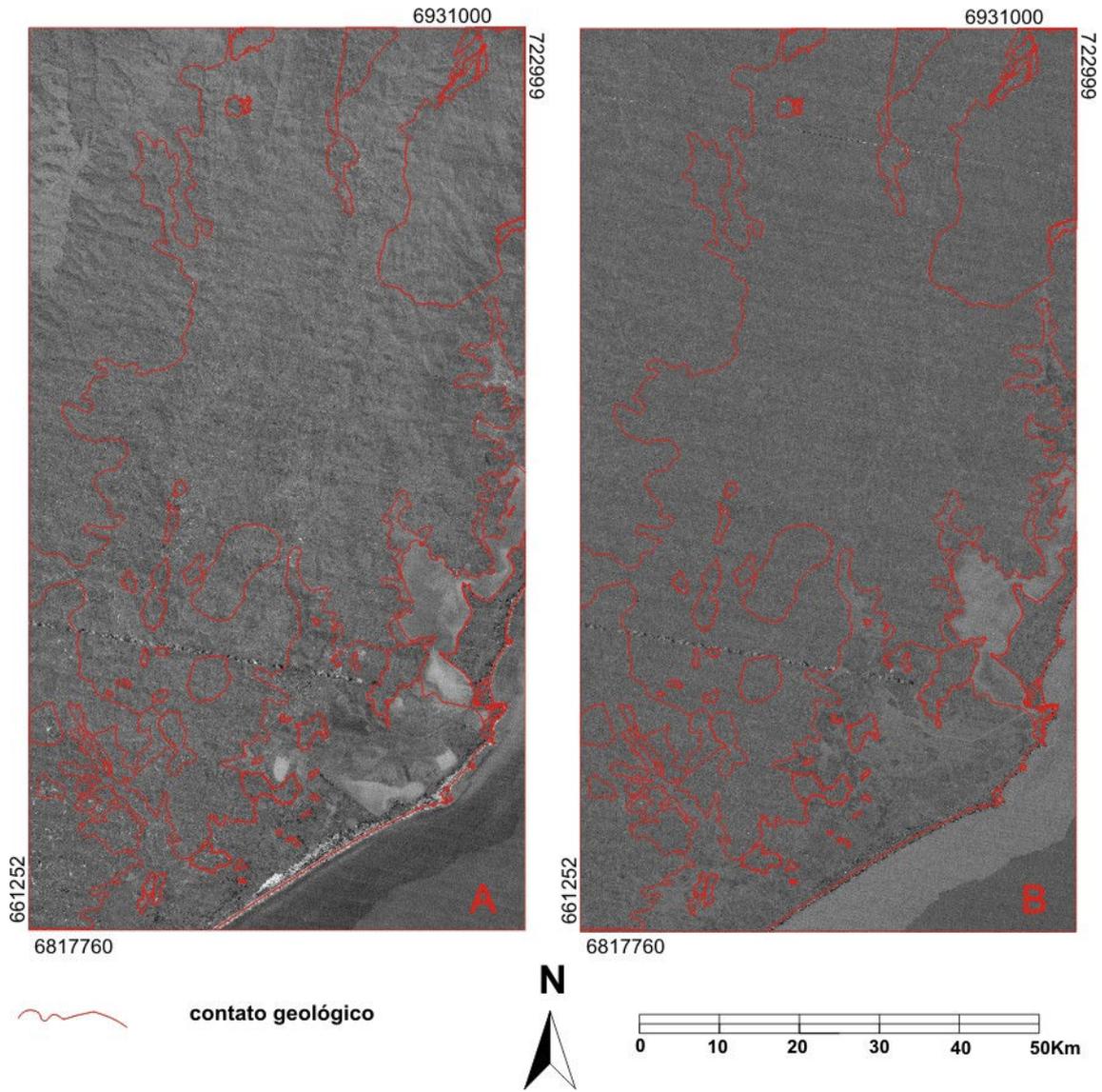


Figura IV.25 - APC feita sobre seis bandas TM LANDSAT 5. A) PC5 e B) PC6 com aumento linear de contraste.

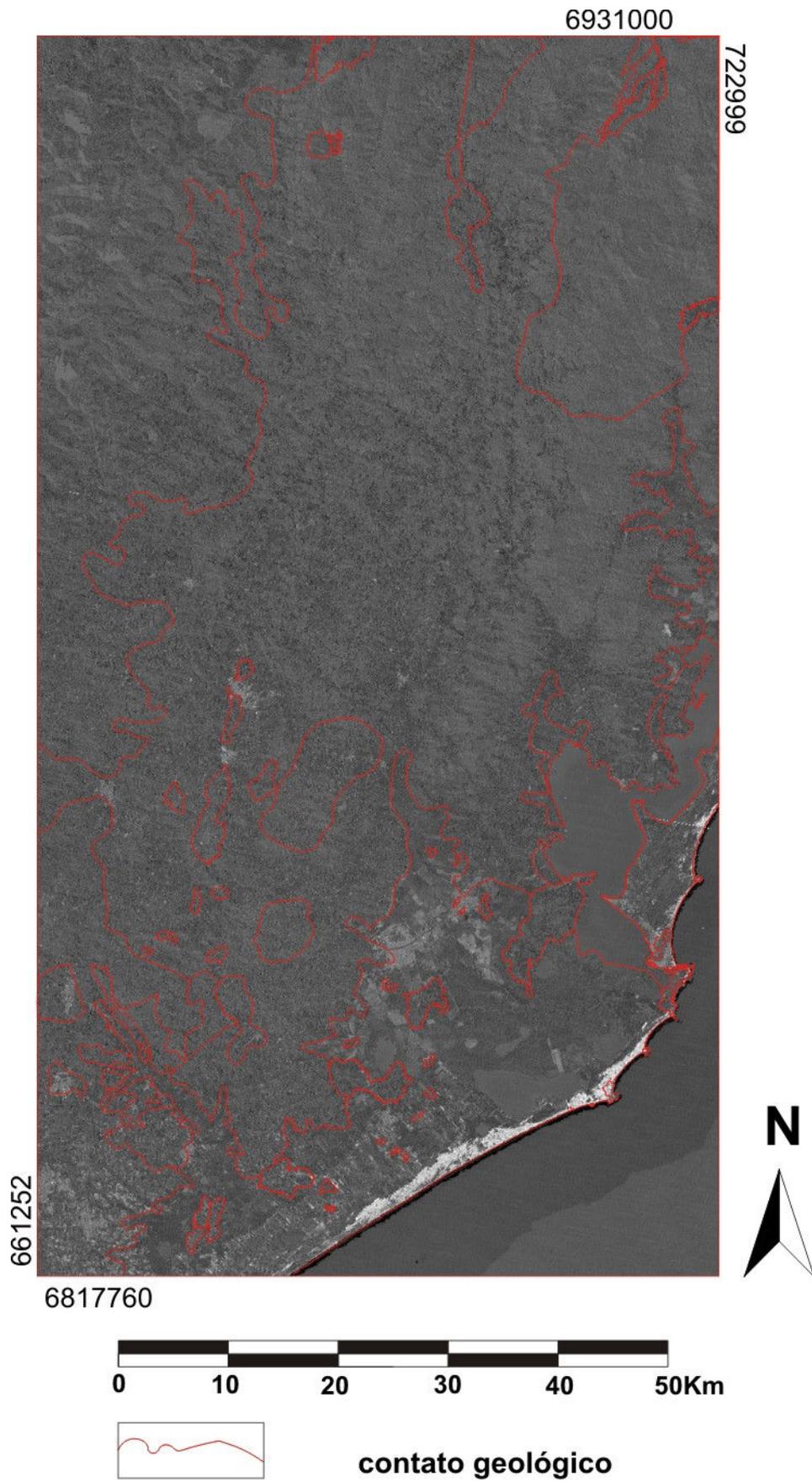


Figura IV.26: Imagem H – PC3 de APC sobre bandas 1-4-5-7 TM LANDSAT 5.

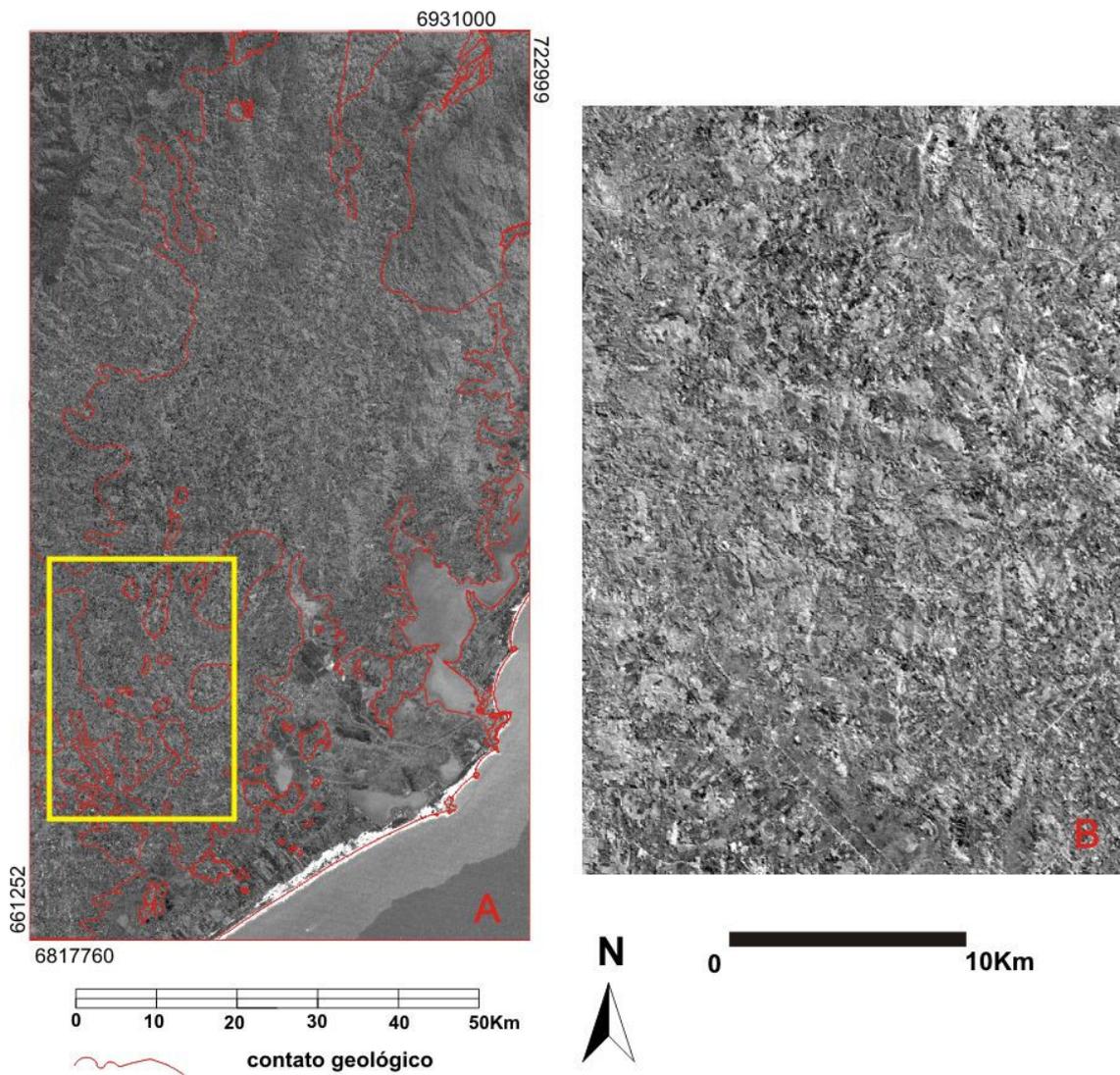


Figura IV.27. Imagem F – PC3 de APC sobre bandas 1-3-4-5 TM LANDSAT 5 (A) e detalhe com realce de contraste (B).

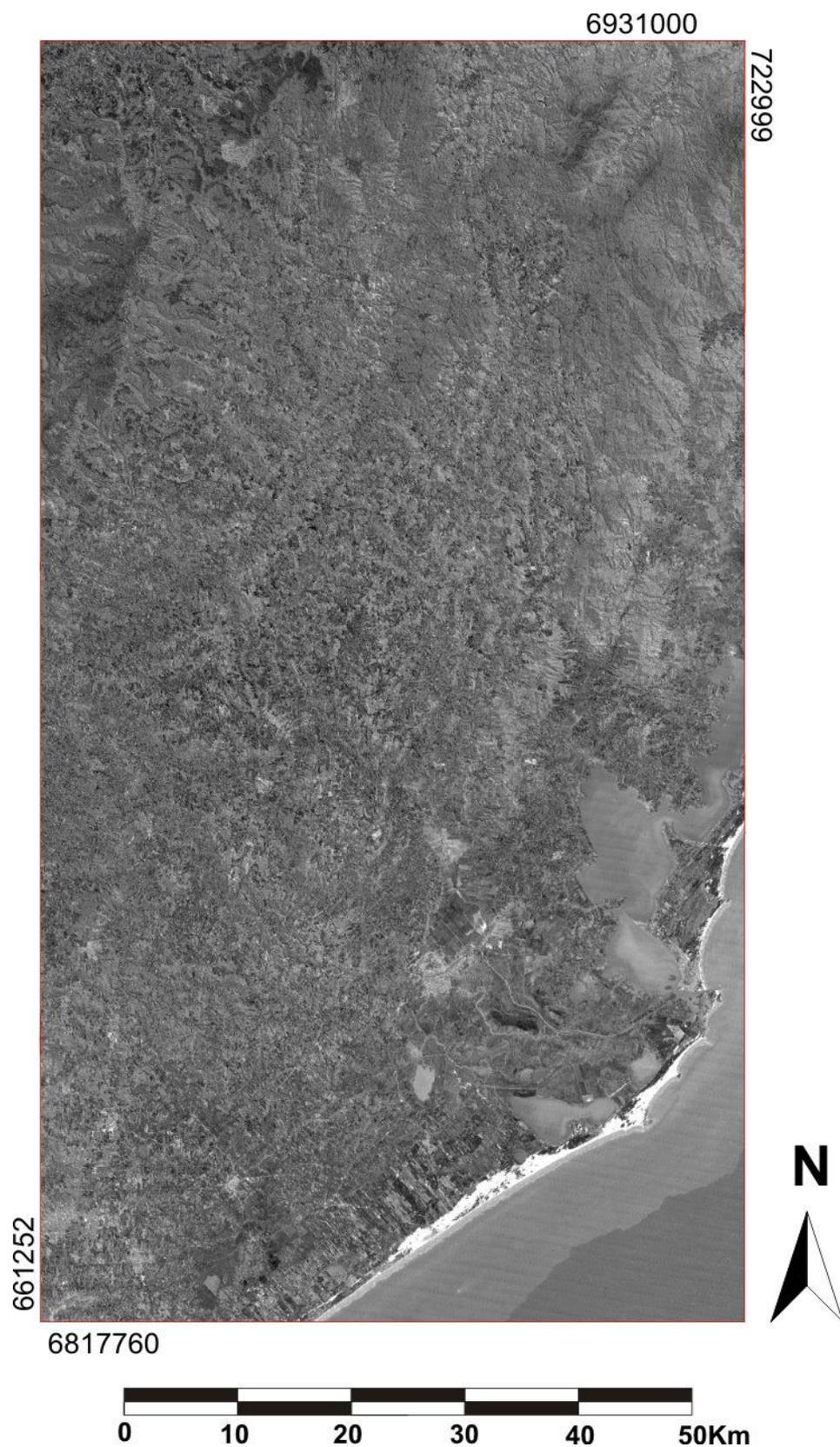


Figura IV.28: Adição de imagens H e F – TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste.

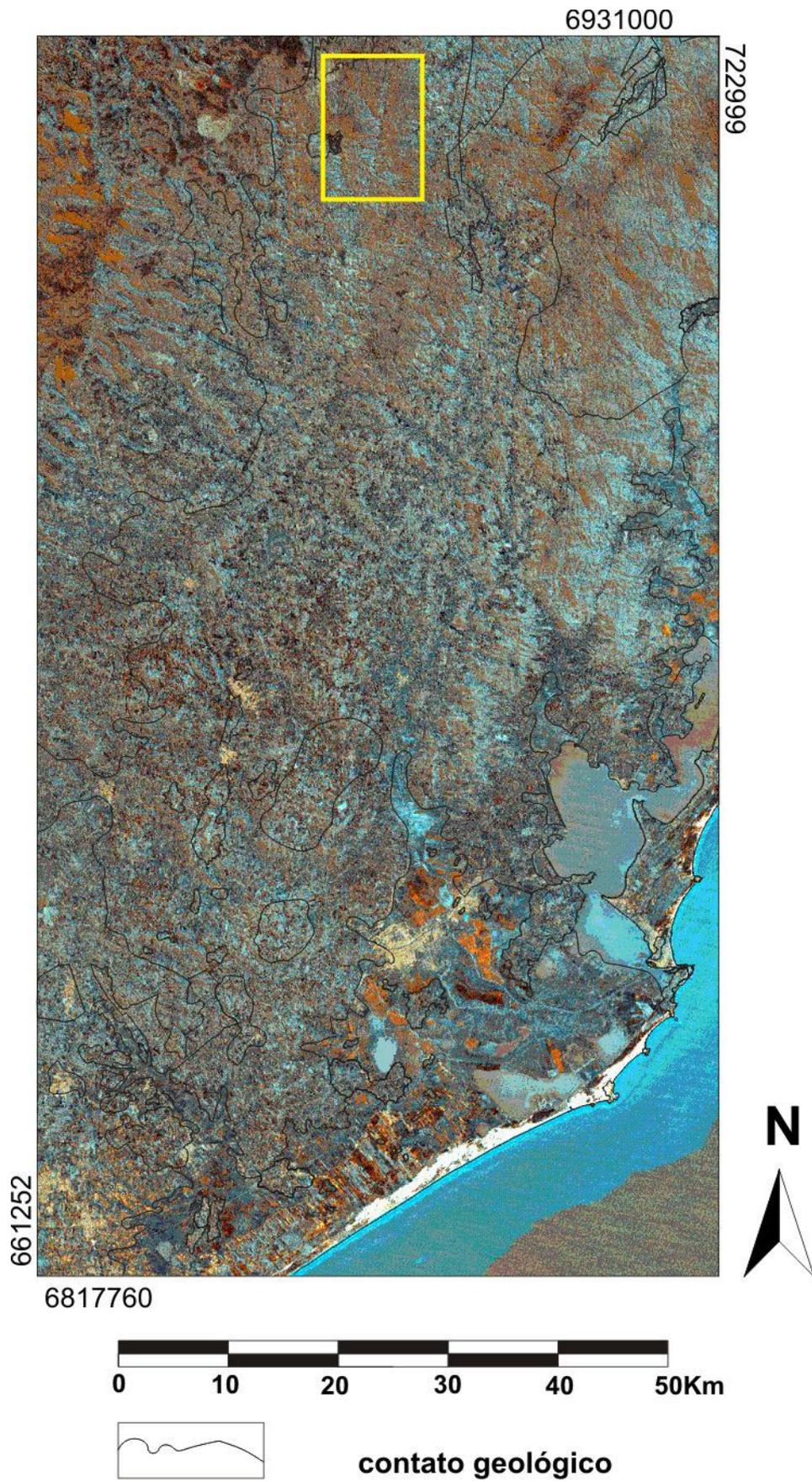


Figura IV.29: Composição colorida das imagens rHgH+FbF, mostrando detalhe.

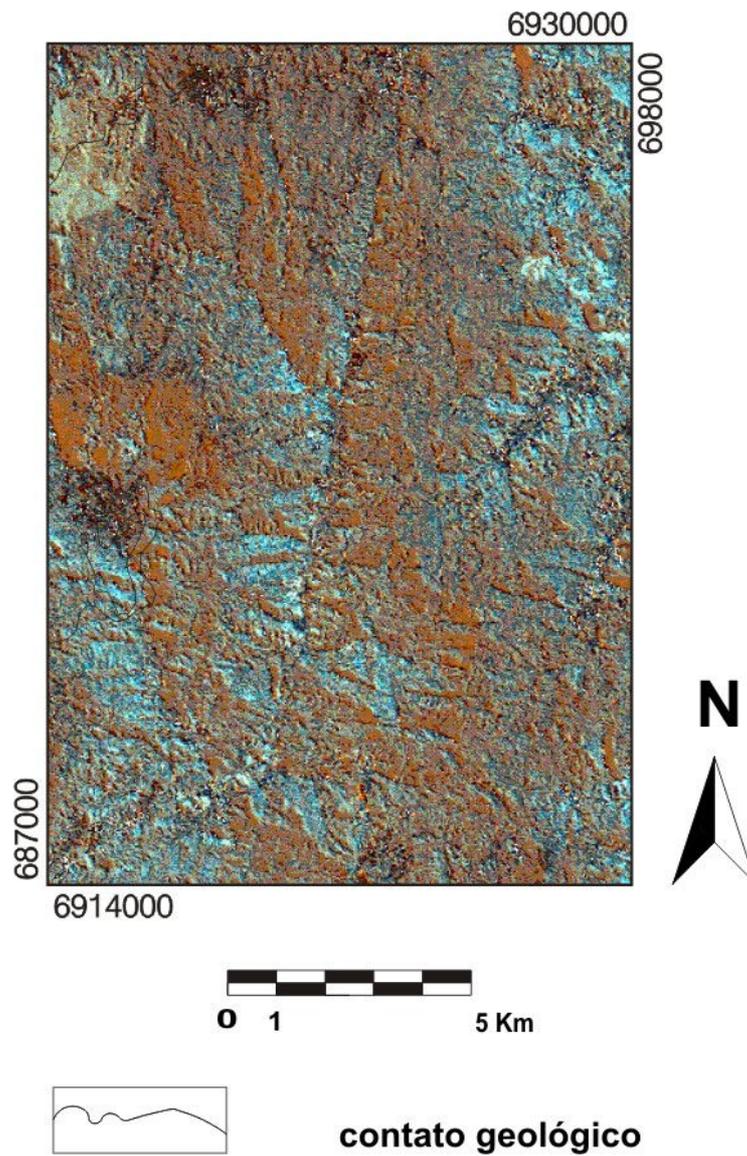


Figura IV.30. Detalhe de estrutura em composição colorida das imagens rHgH+FbF.

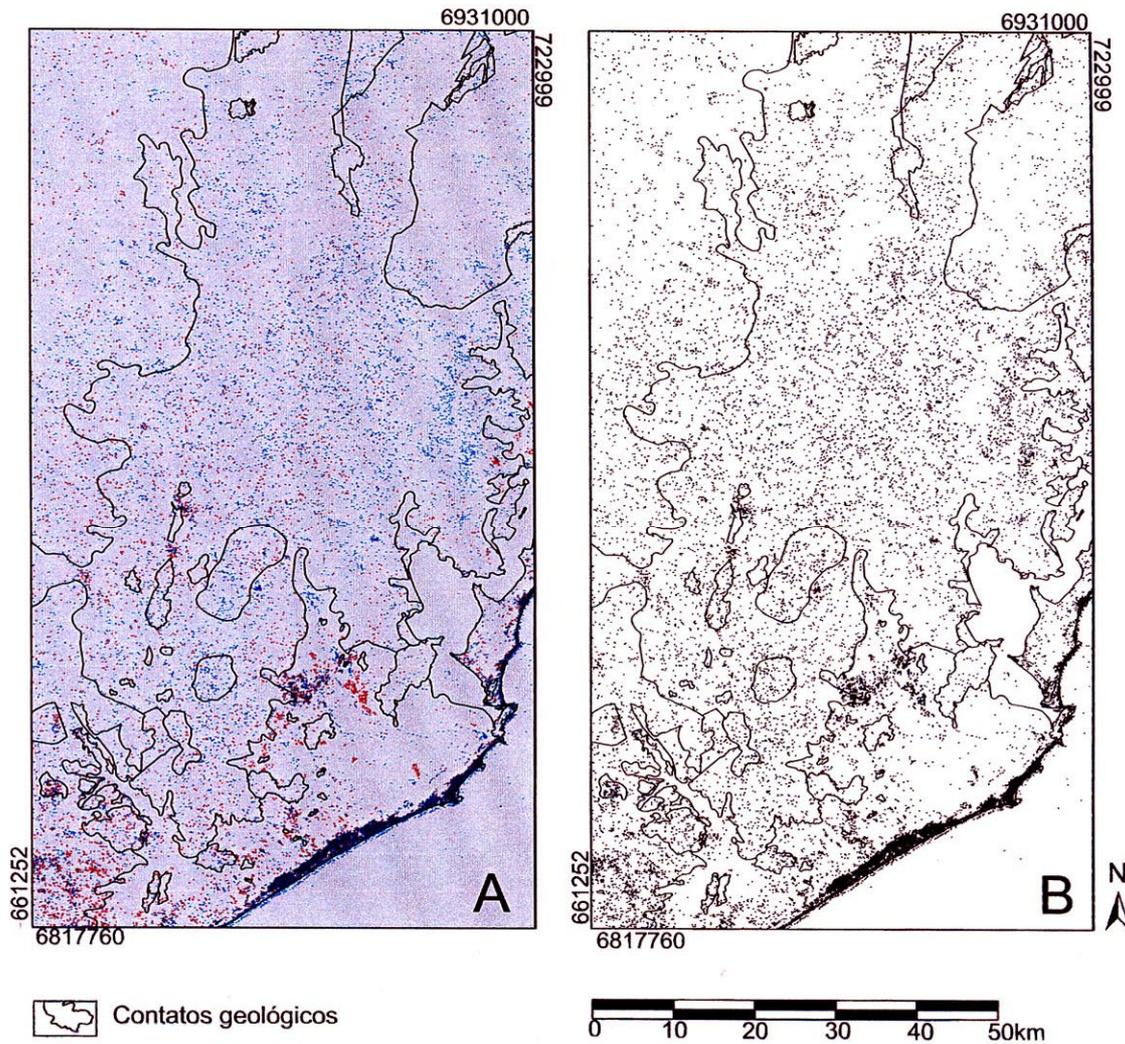


Figura IV.31 - Alvos segundo os critérios de Loughlin (1991) obtidos pela composição colorida rHgH+FbF. A) Reclassificação realçando a alteração hidrotermal nos alvos: Hidroxilas = Ferro (azul); Hidroxilas > Ferro (vermelho); Ferro > Hidroxila (ciano). B) Reclassificação da imagem A realçando a alteração hidrotermal indistinta.

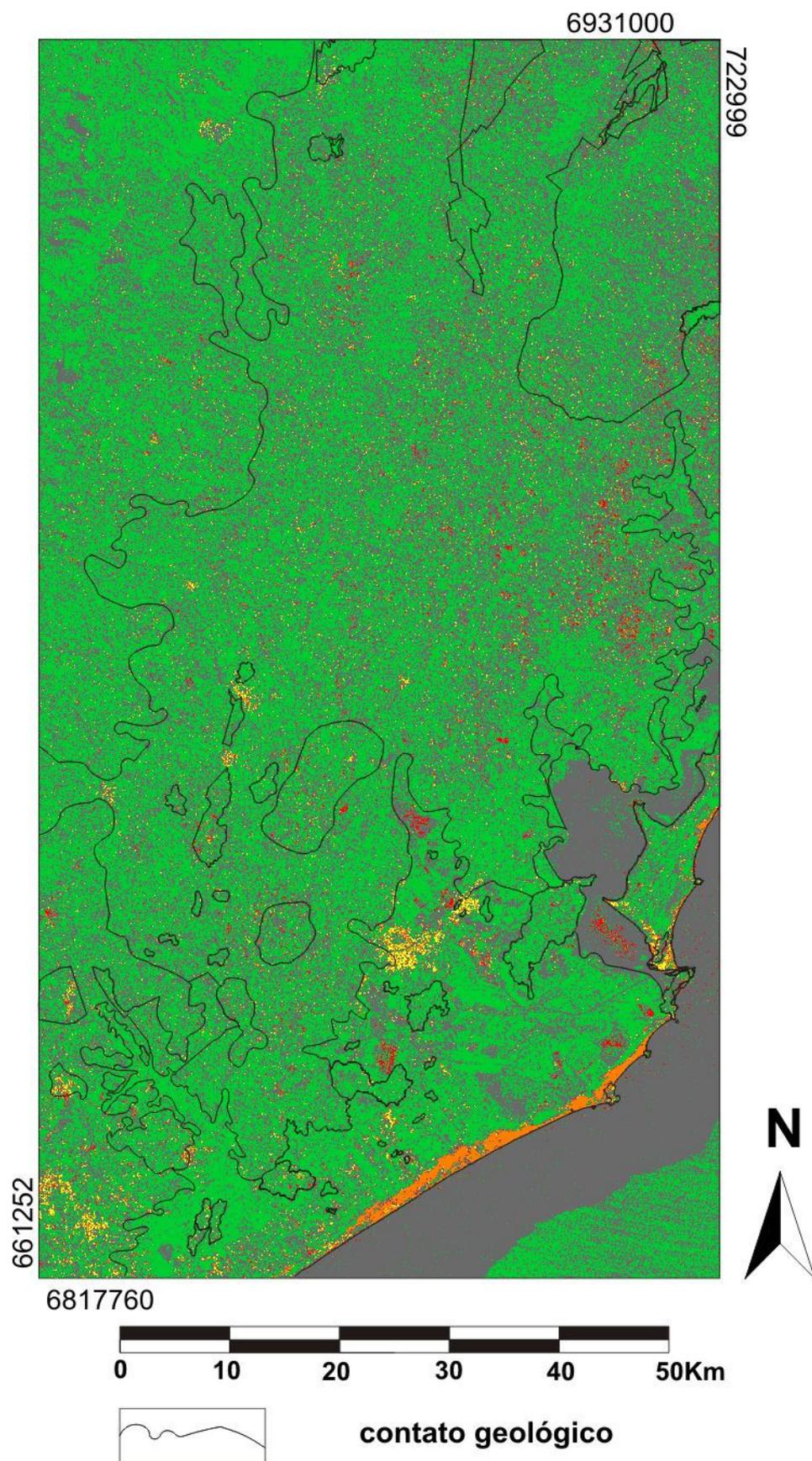


Figura IV.32: Classificação de MAXVER nas bandas H, H+F e F do TM LANDSAT 5 e as classes: alteração hidrotermal (vermelho); estéril (cinza); área degradada (amarelo), uso antrópico (verde); dunas (laranja); água (azul).

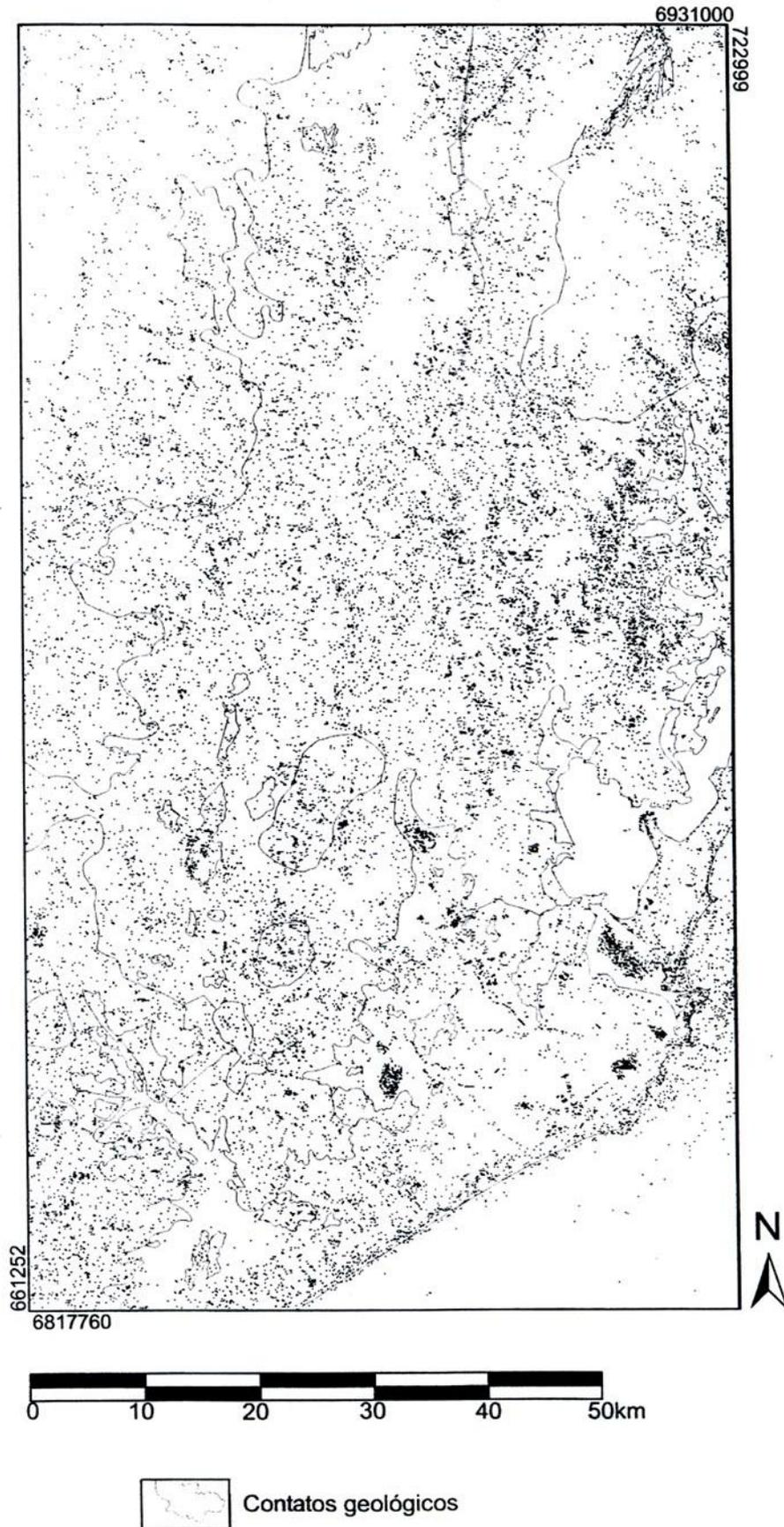


Figura IV.33: Reclassificação da imagem MAXVER de dados TM LANDSAT 5.

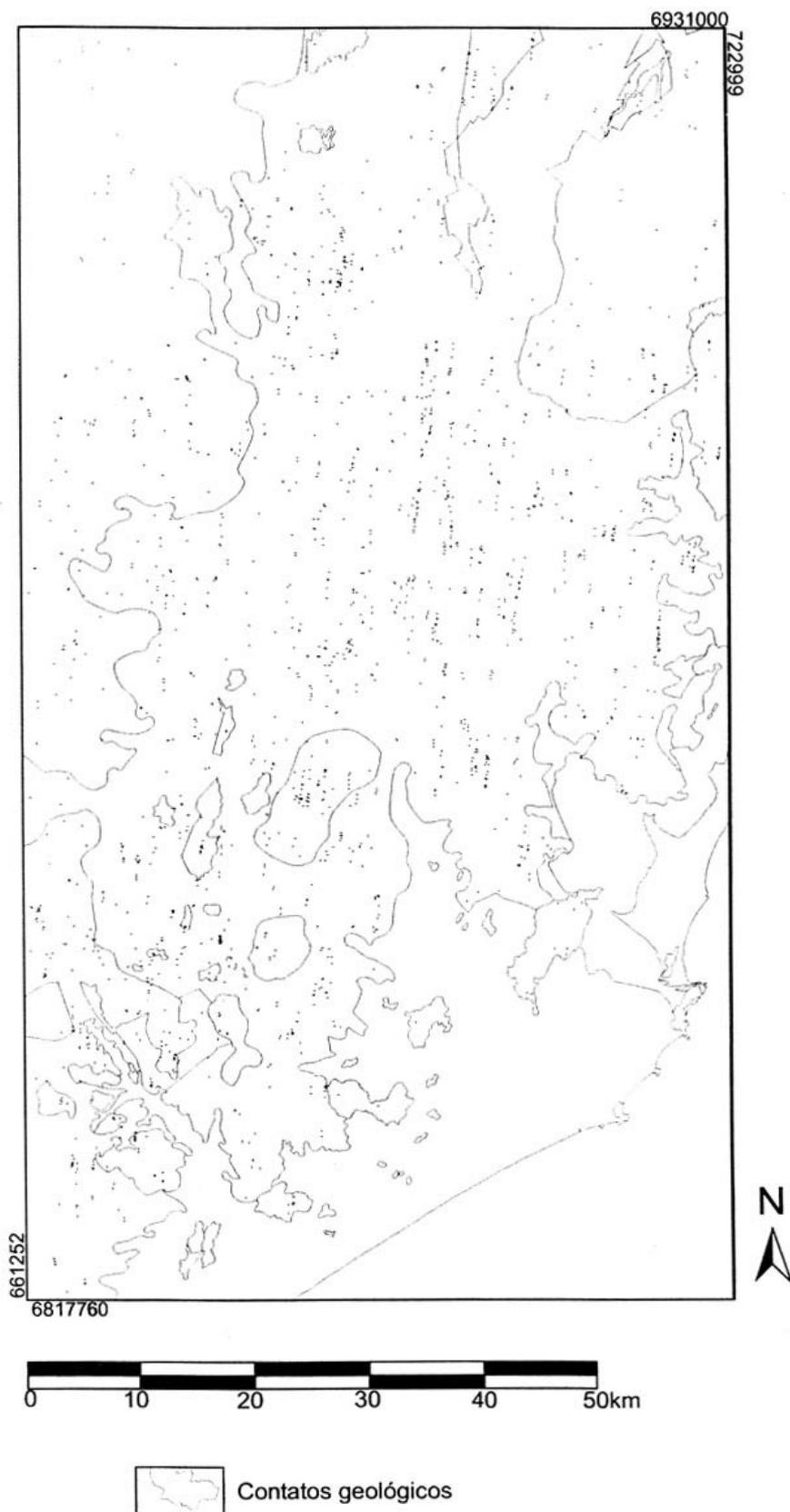


Figura IV. 34. Filtragem NNE (  $N0^{\circ}-10^{\circ}E$ ) versus HF reclassificada de dados TM LANDSAT 5.

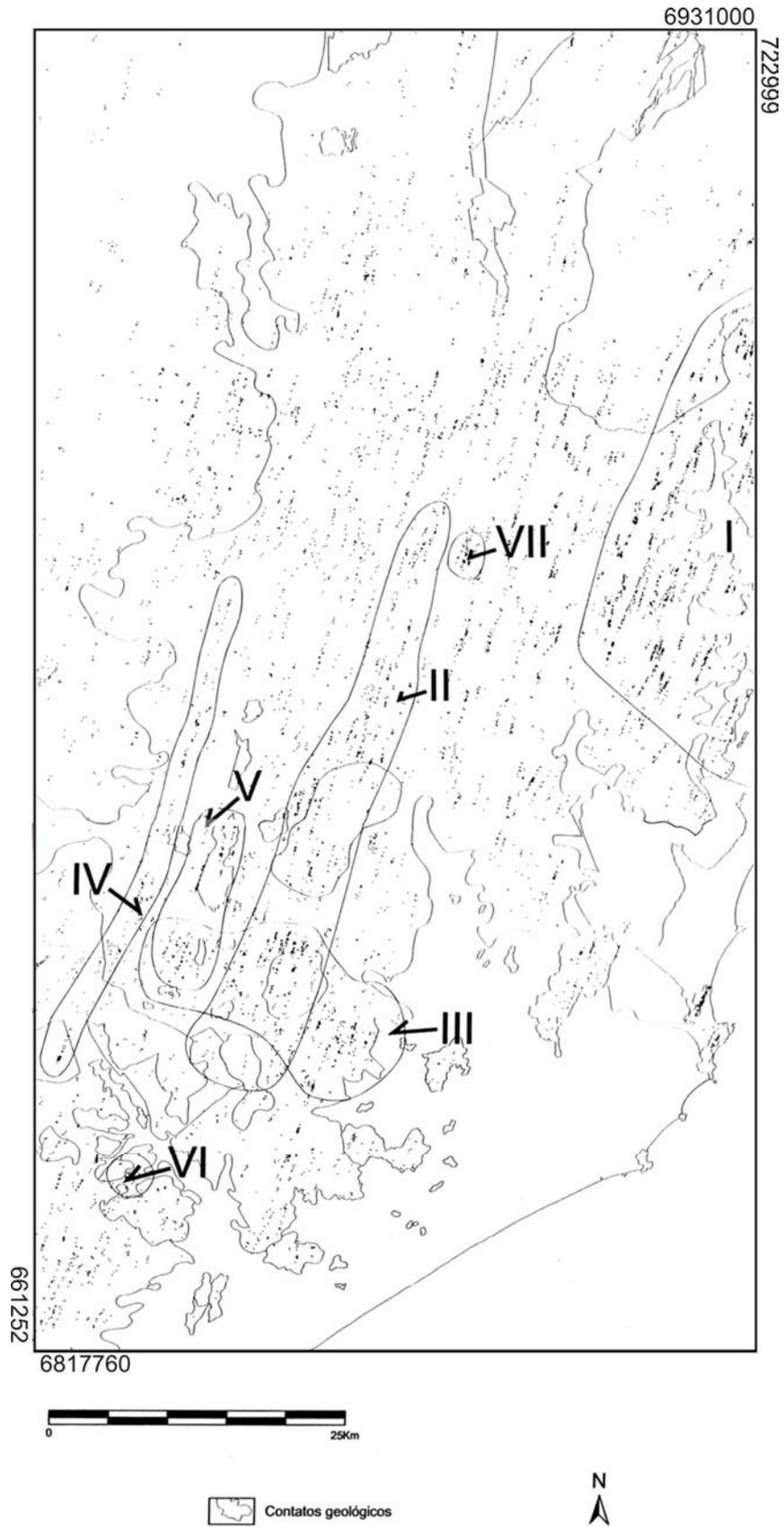


Figura IV.35: Filtragem NE1 (N 10°-45° E) versus HF reclassificada de dados TM LANDSAT 5.

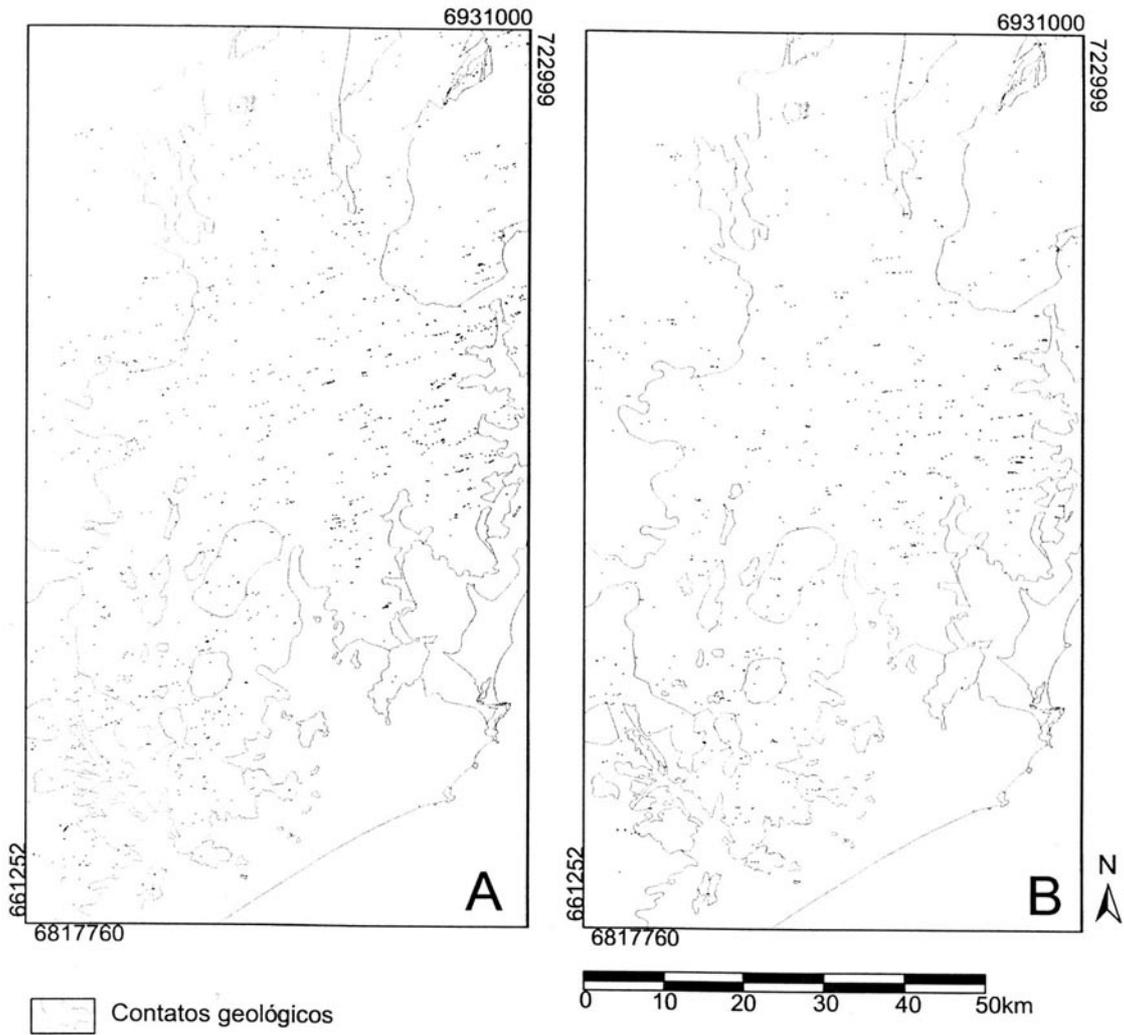


Figura IV.36. Filtragem versus HF reclassificada de dados TM LANDSAT 5, mostrando N45°-80°E (A) e N80°-90°E (B).

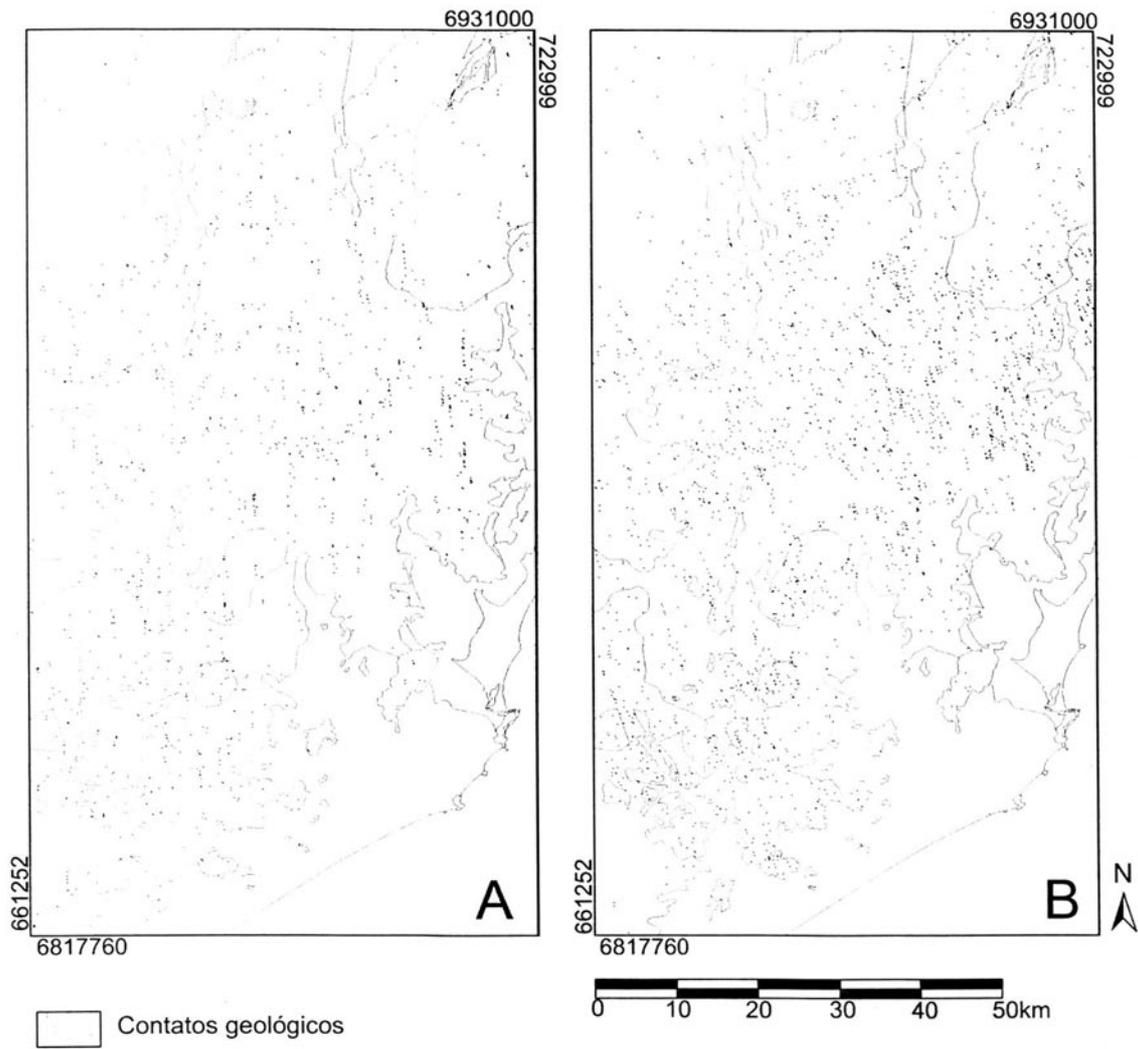


Figura IV.37. Filtragem versus HF reclassificada (TM LANDSAT 5), N0°-10°W (A) e N10°-45°W (B)

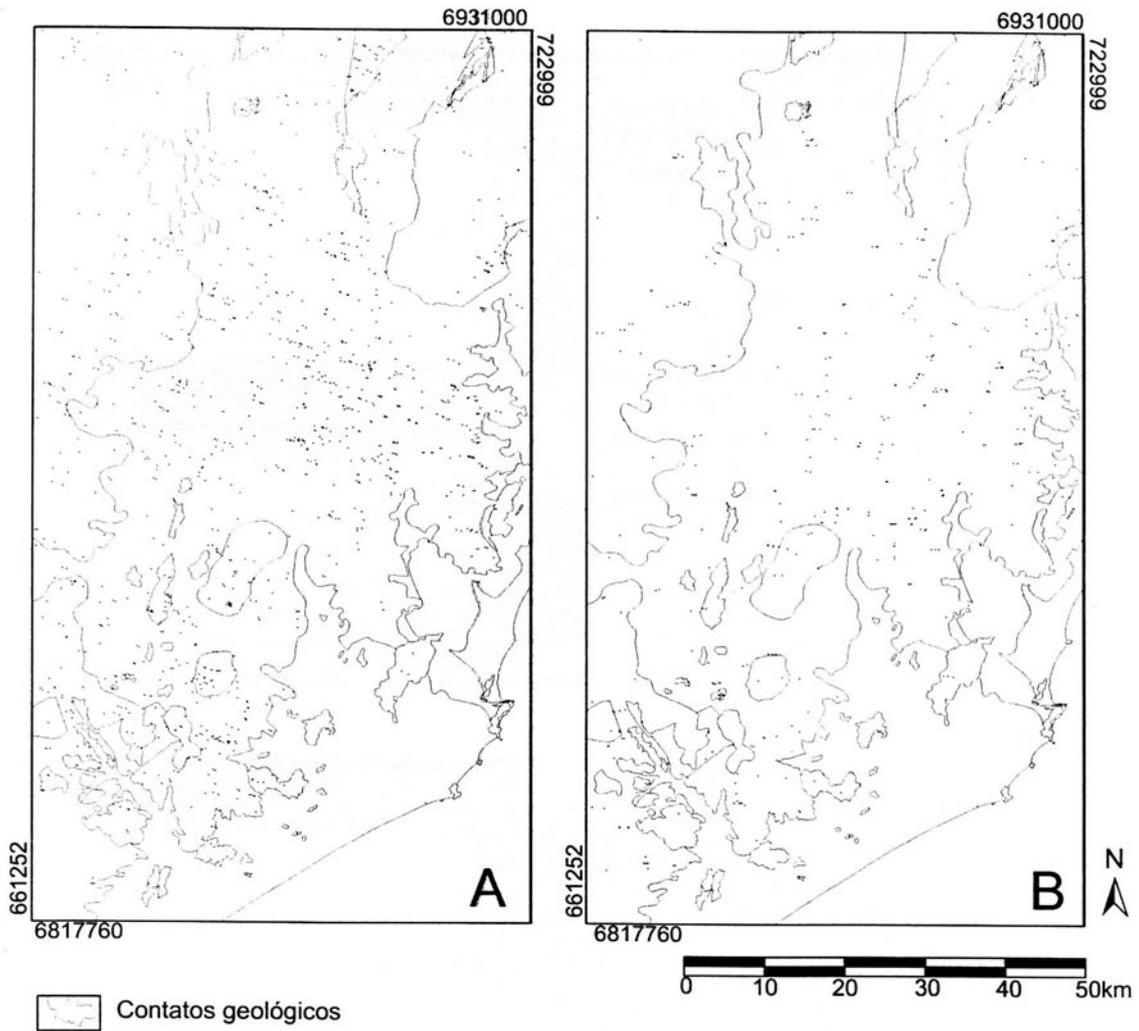
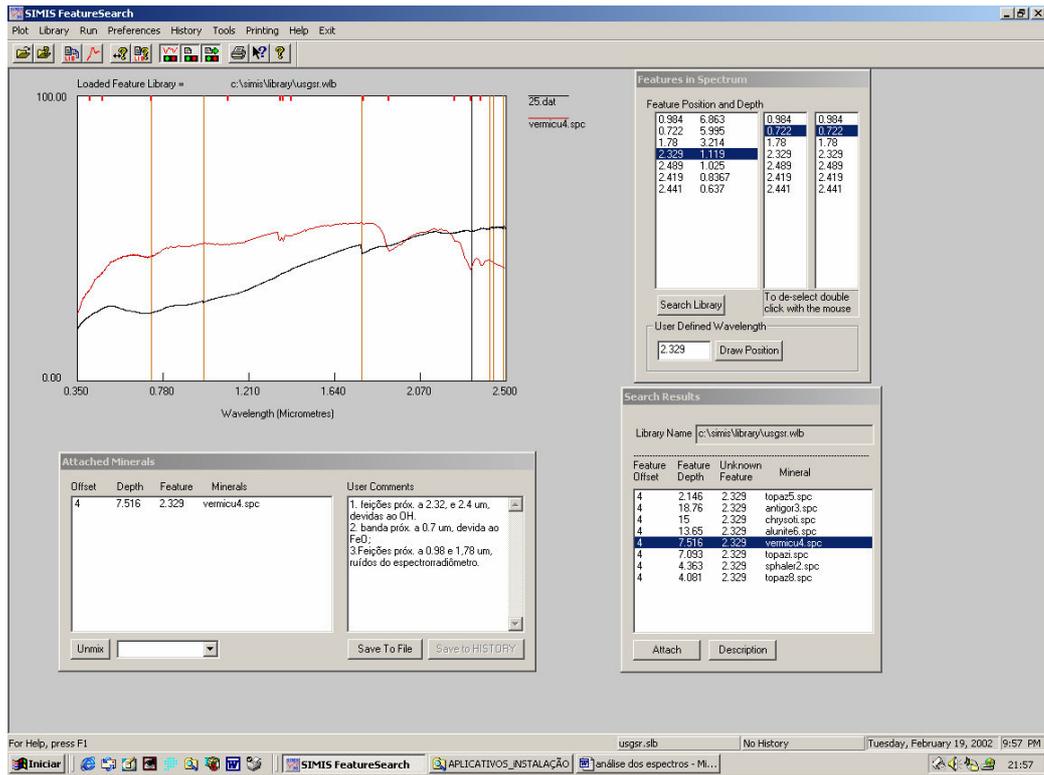
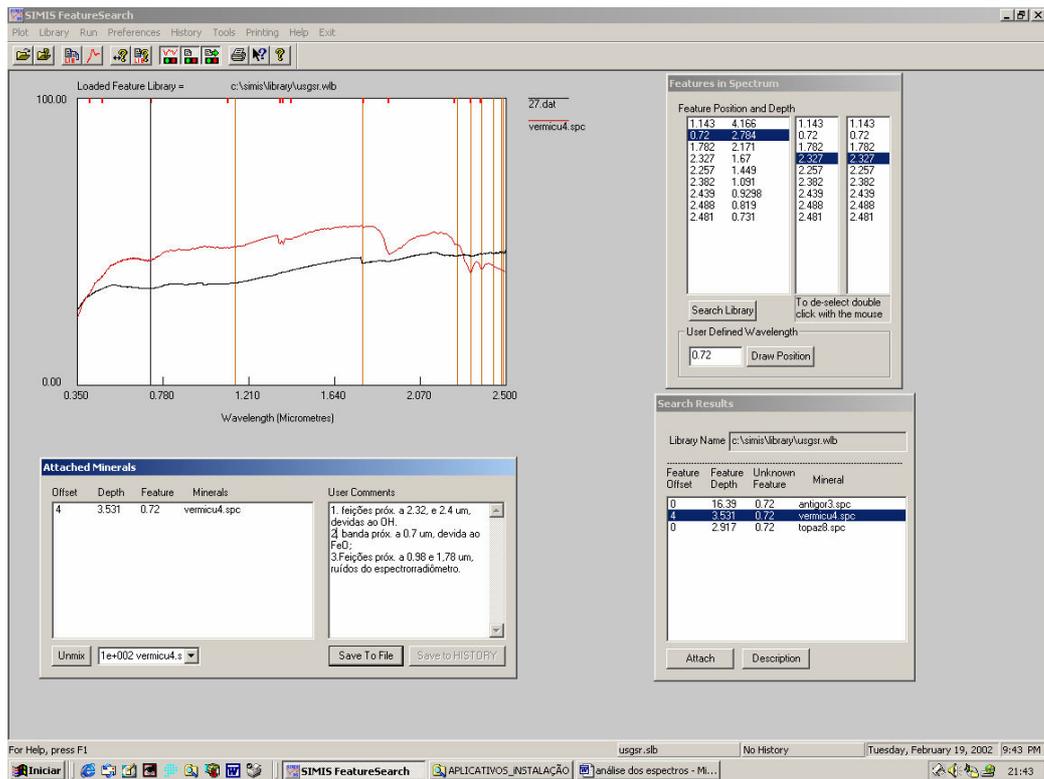


Figura IV.38. Filtragem versus HF reclassificada de dados TM LANDSAT 5, mostrando N45-80°W em A e N80°-90°W em B.



A



B

Figura IV.39. Espectros do Granito Tabuleiro. A – amostra 25, B – amostra 27.

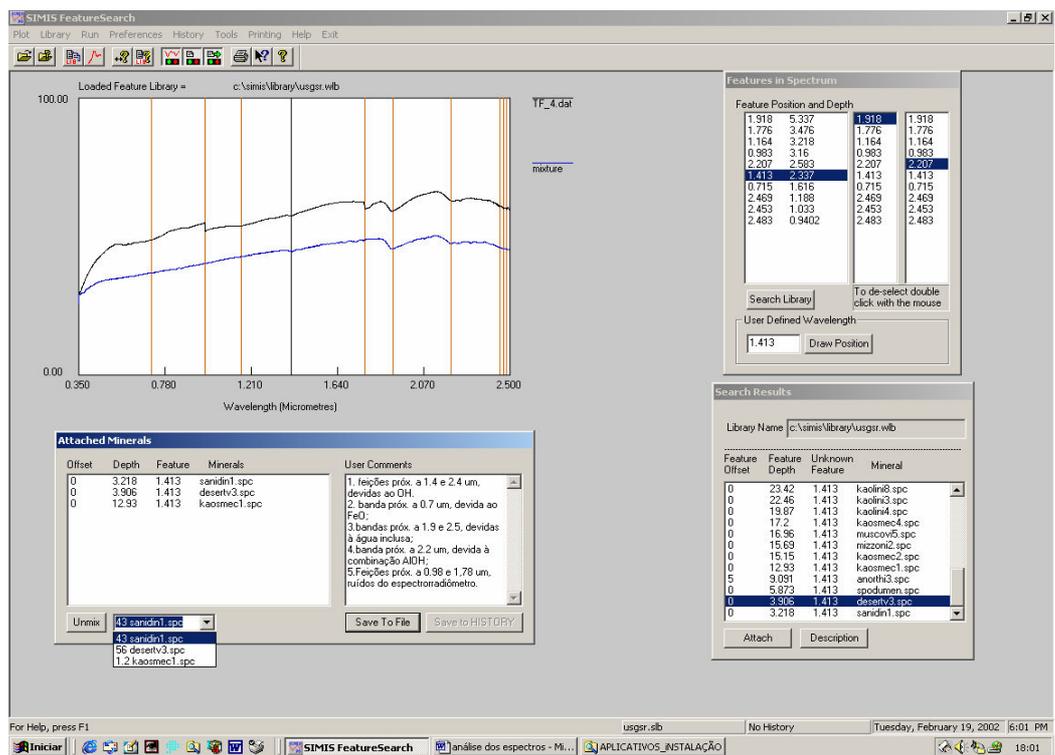
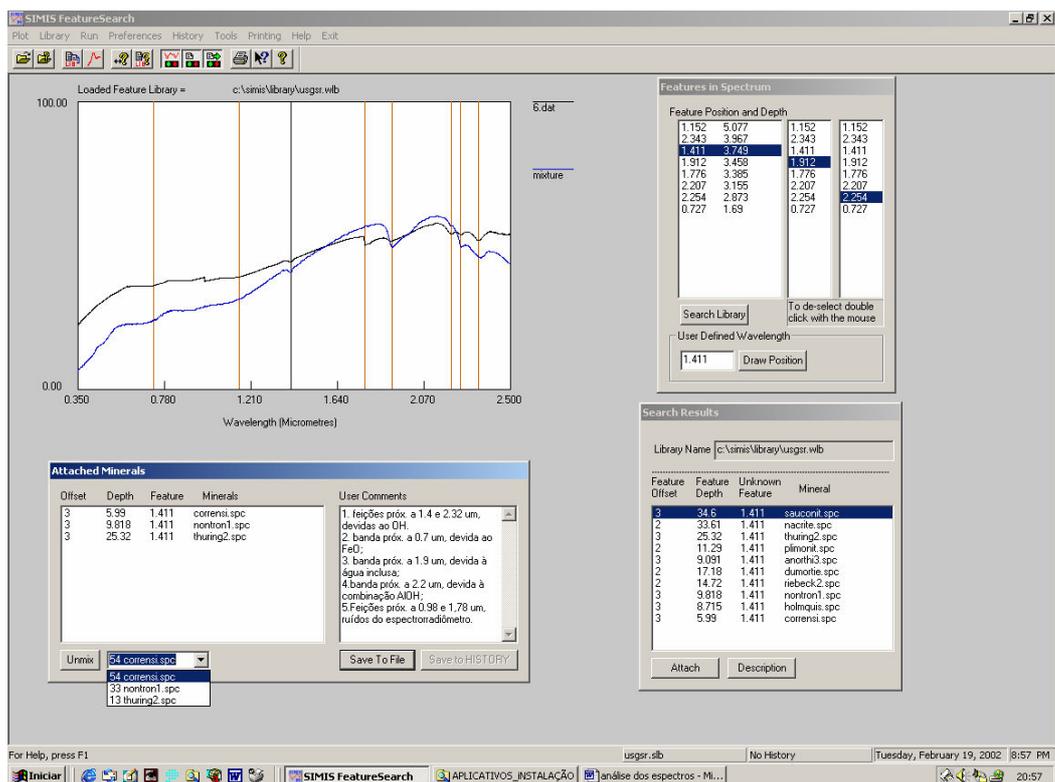


Figura IV.40. Espectros do Granito Pedras Grandes. A – amostra 6; B – amostra TF-4.

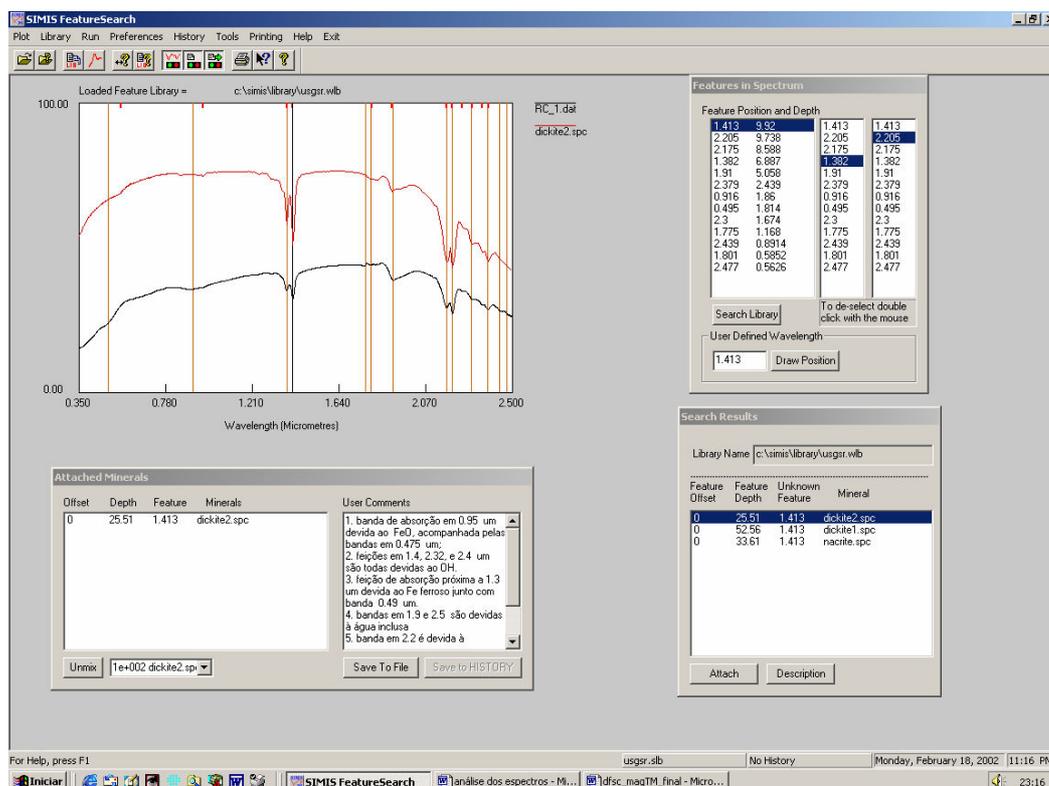
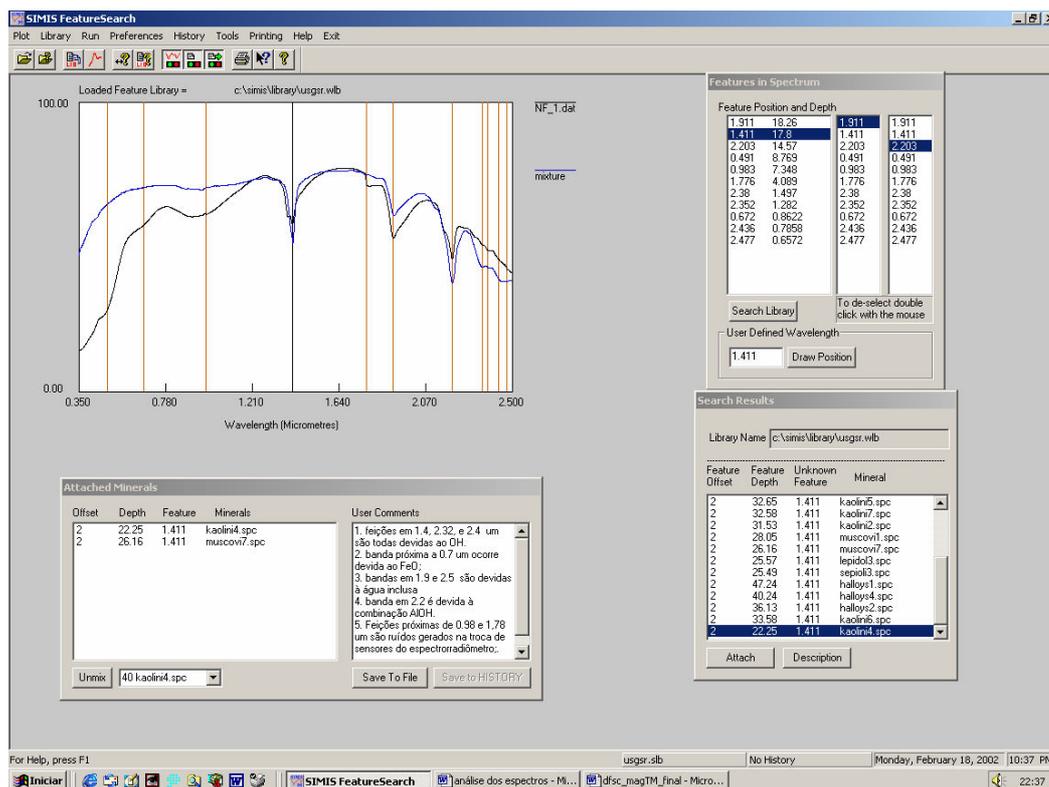


Figura IV.41. Espectros de amostras das estruturas controladoras de jazidas do Norte do DFSC. A – amostra NF-1 ; B – RC-1.

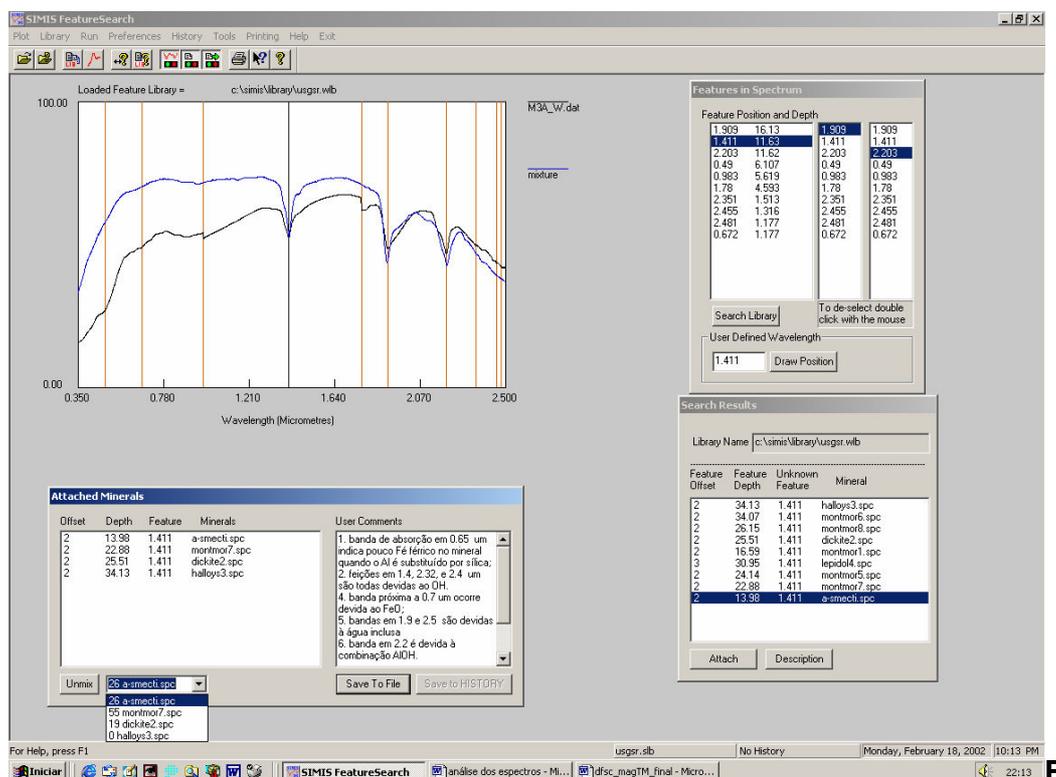
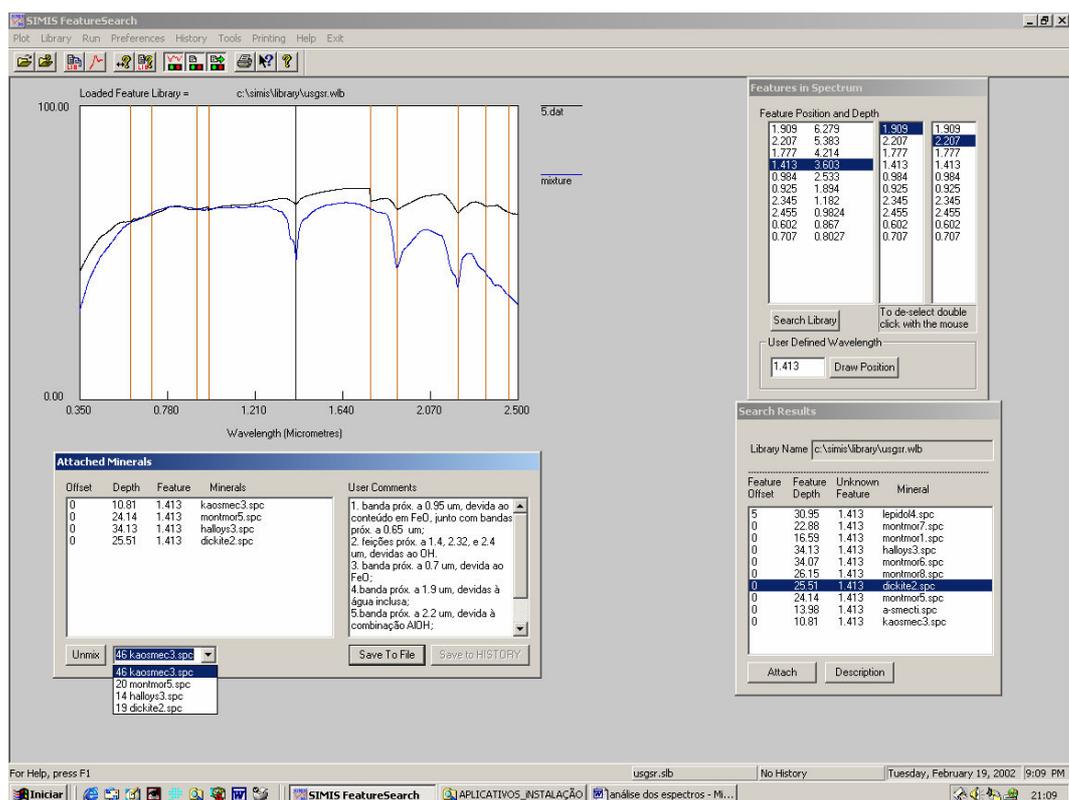


Figura IV.42. Espectros de amostras das estruturas – Sul DFSC. A – amostra 5 coletada no LCG; B – amostra M3A-W, na estrutura controladora do filão Cocal.

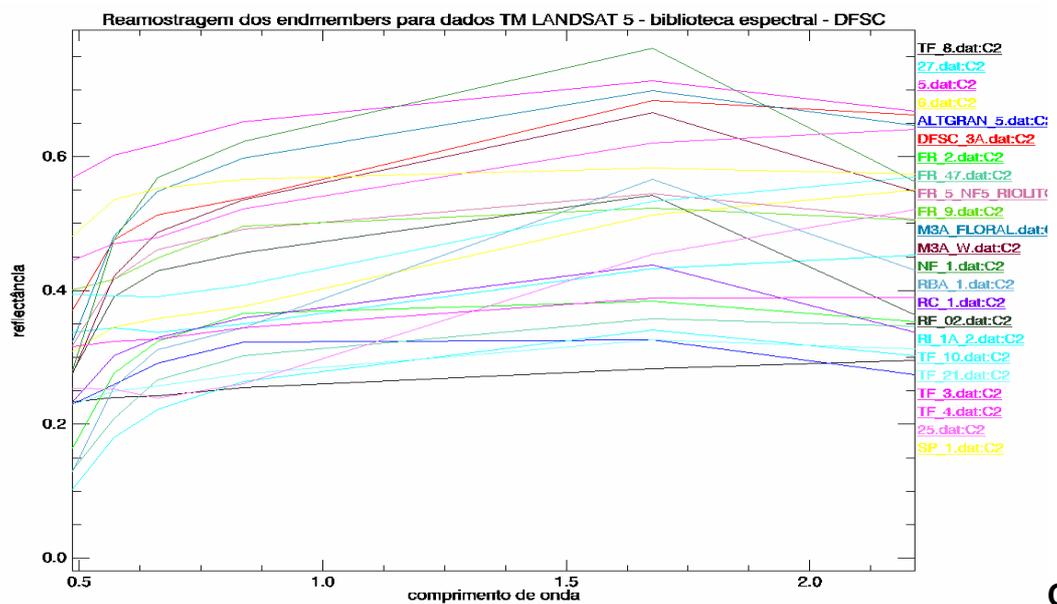
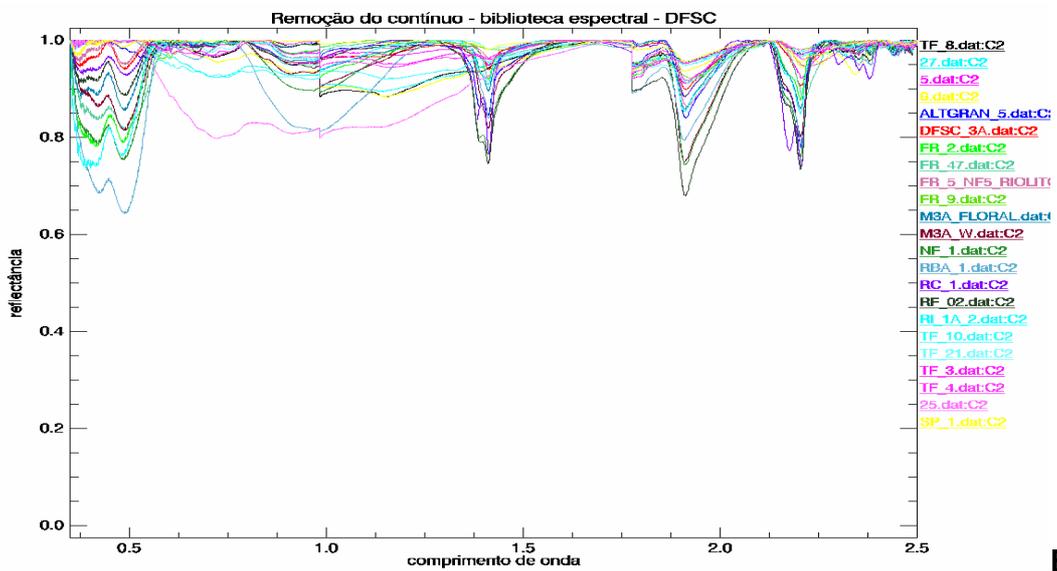
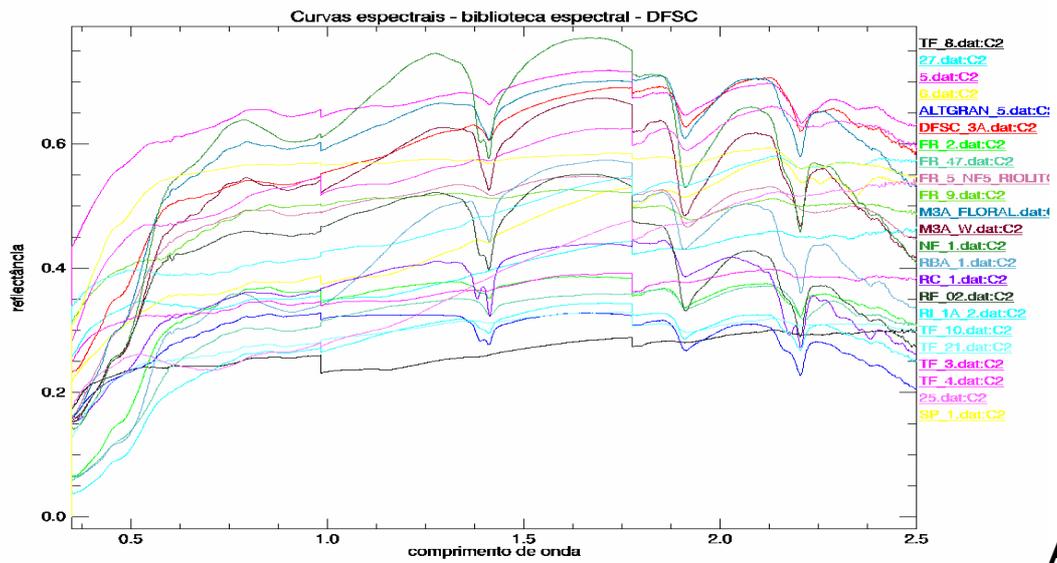


Figura IV.43. Curvas espectrais dos *endmembers* para o DFSC.

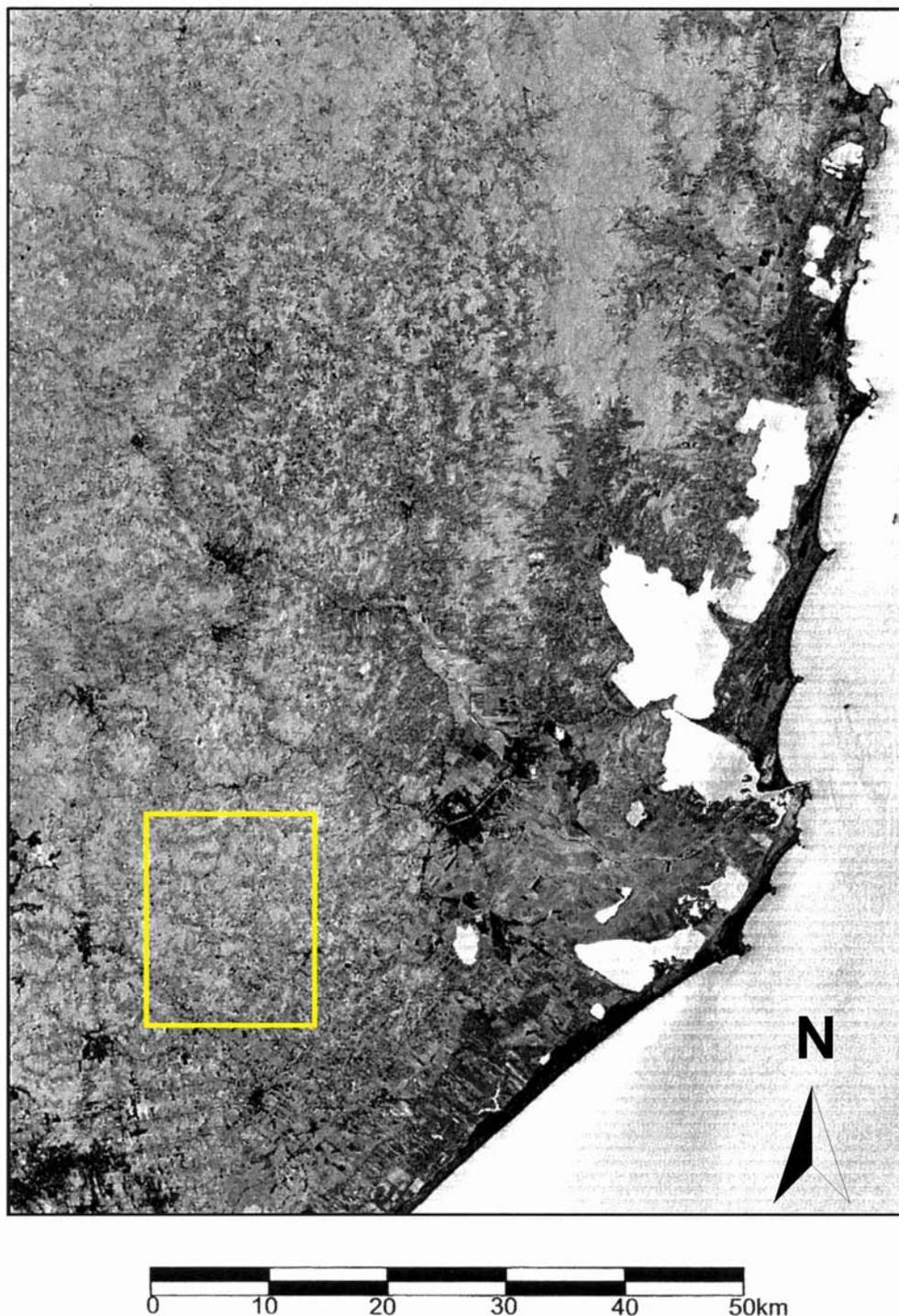


Figura IV.44. Imagem classificação de *endmember* para o DFSC, indicando área a ser mostrada no detalhe (Figura IV.45).

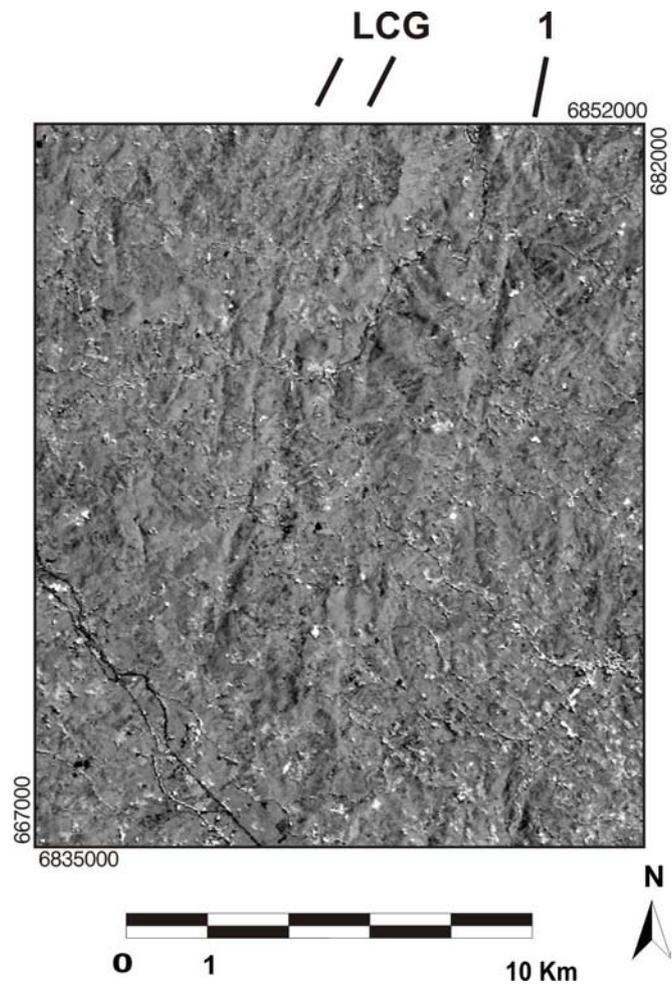


Figura IV.45. Corte da imagem PC3 da imagem de reflectância, ressaltando morfo-estruturas associadas à alteração hidrotermal.

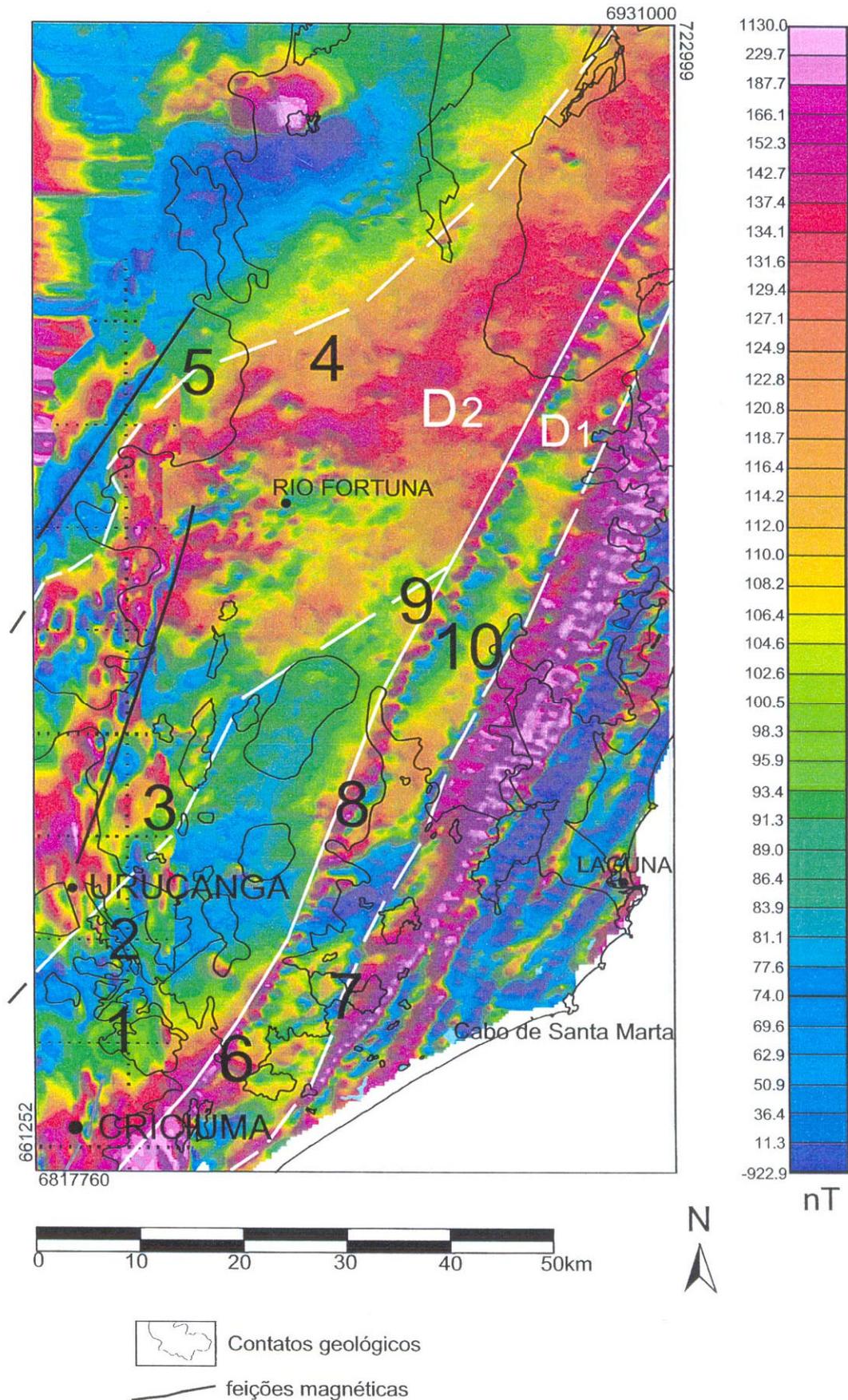


Figura IV.46. Imagem magnetométrica – campo magnético residual.

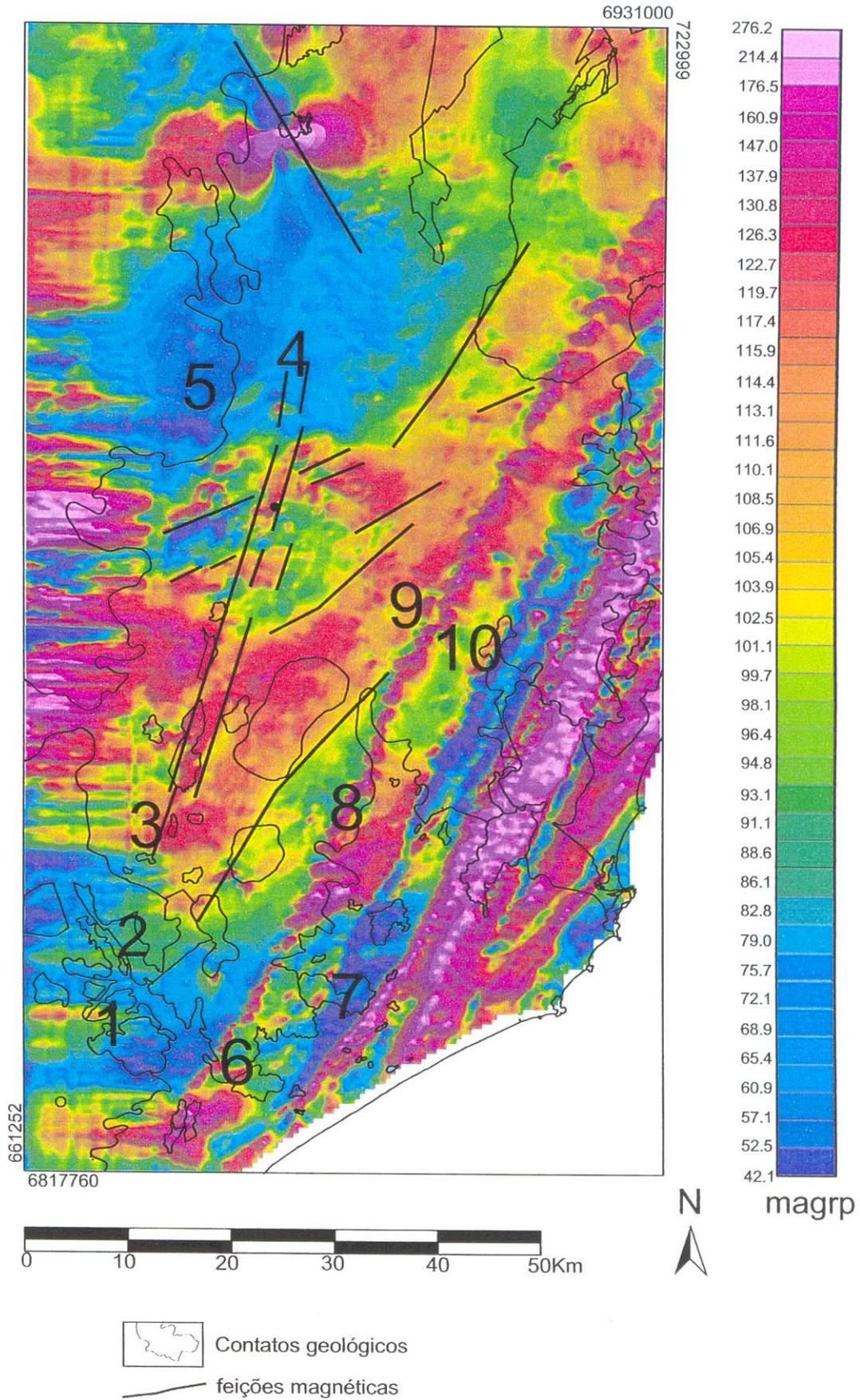


Figura IV.47. Imagem magnetométrica – redução ao pólo.



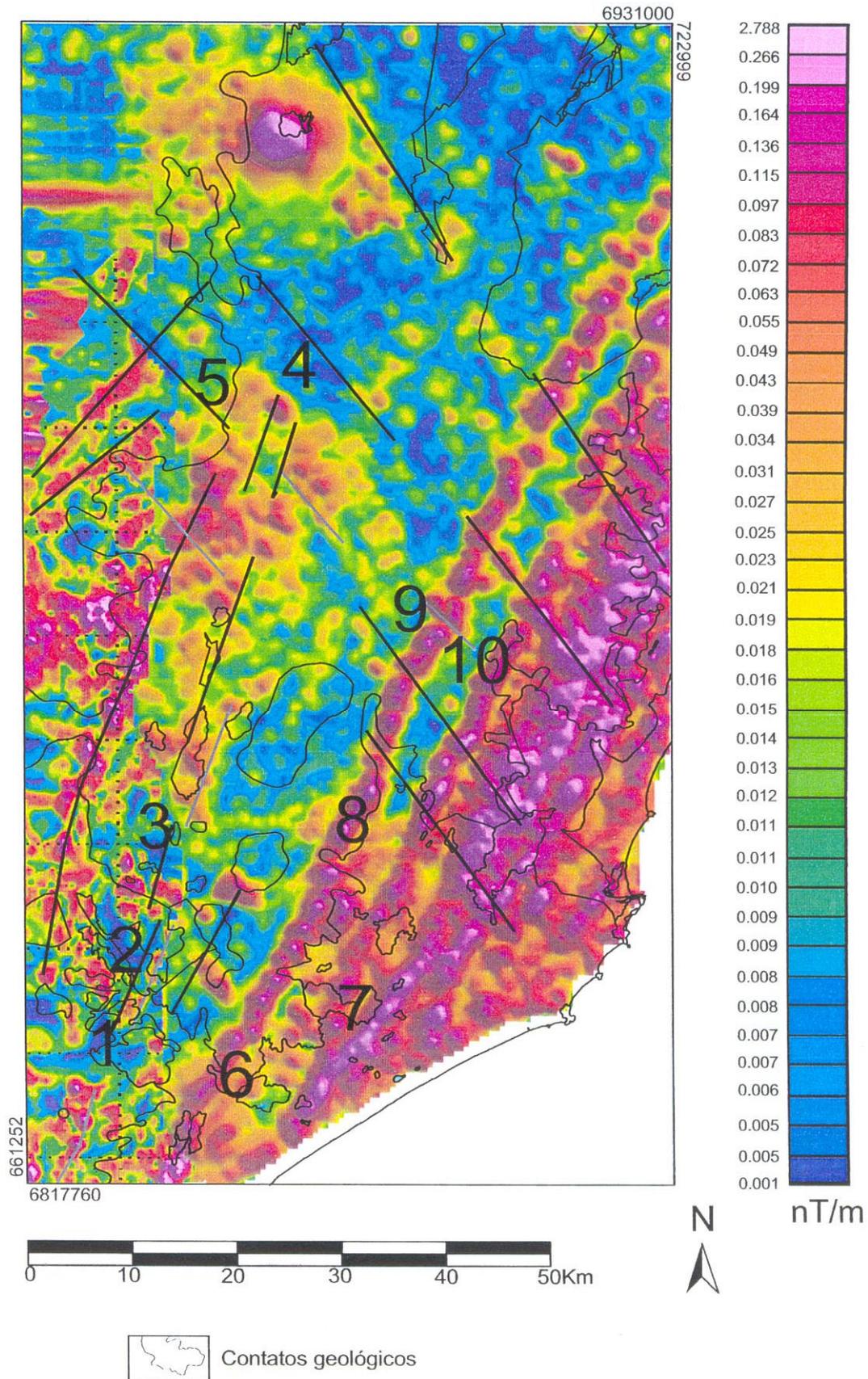


Figura IV.49. Imagem magnetométrica – sinal analítico

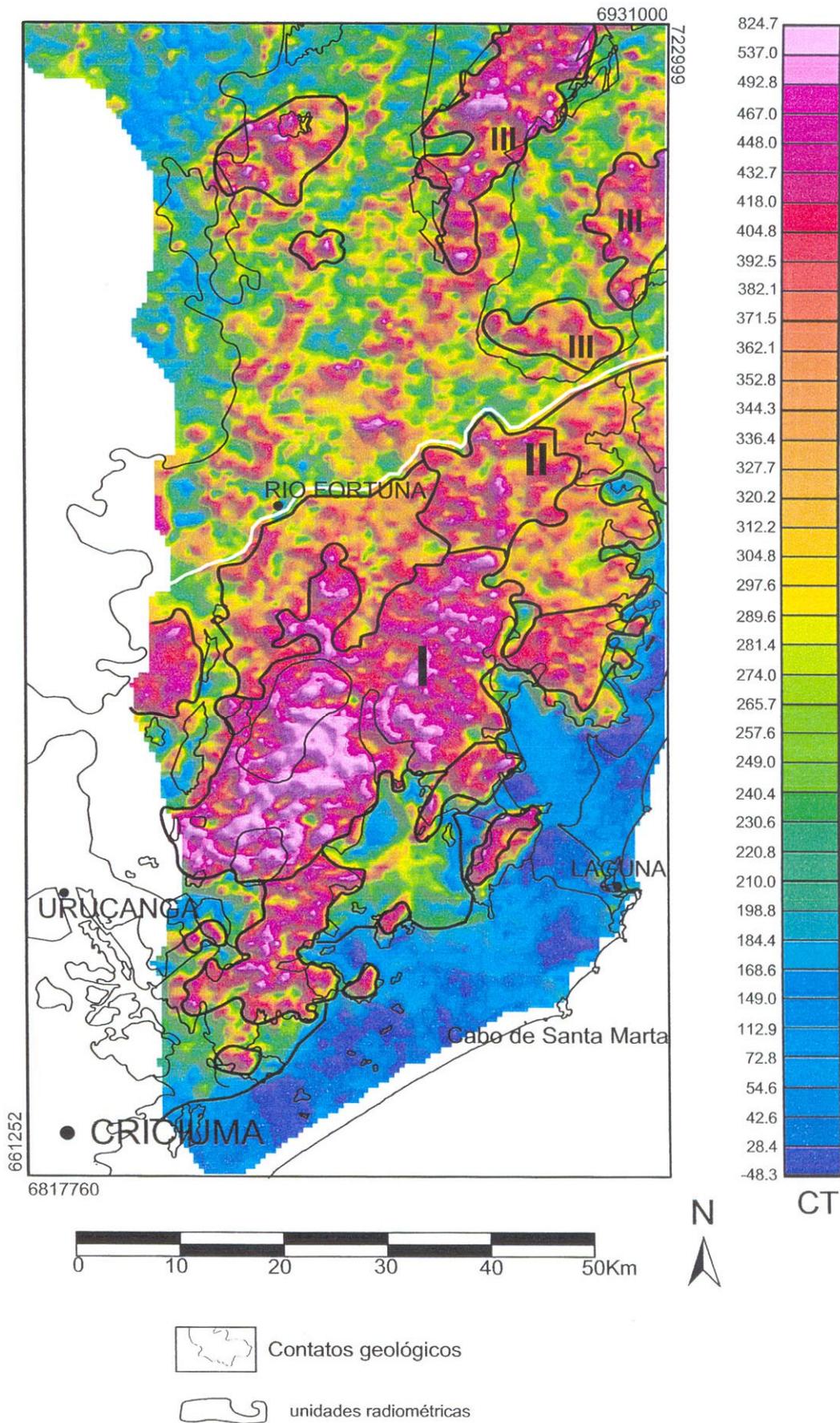


Figura IV.50: Imagem radiométrica – contagem total

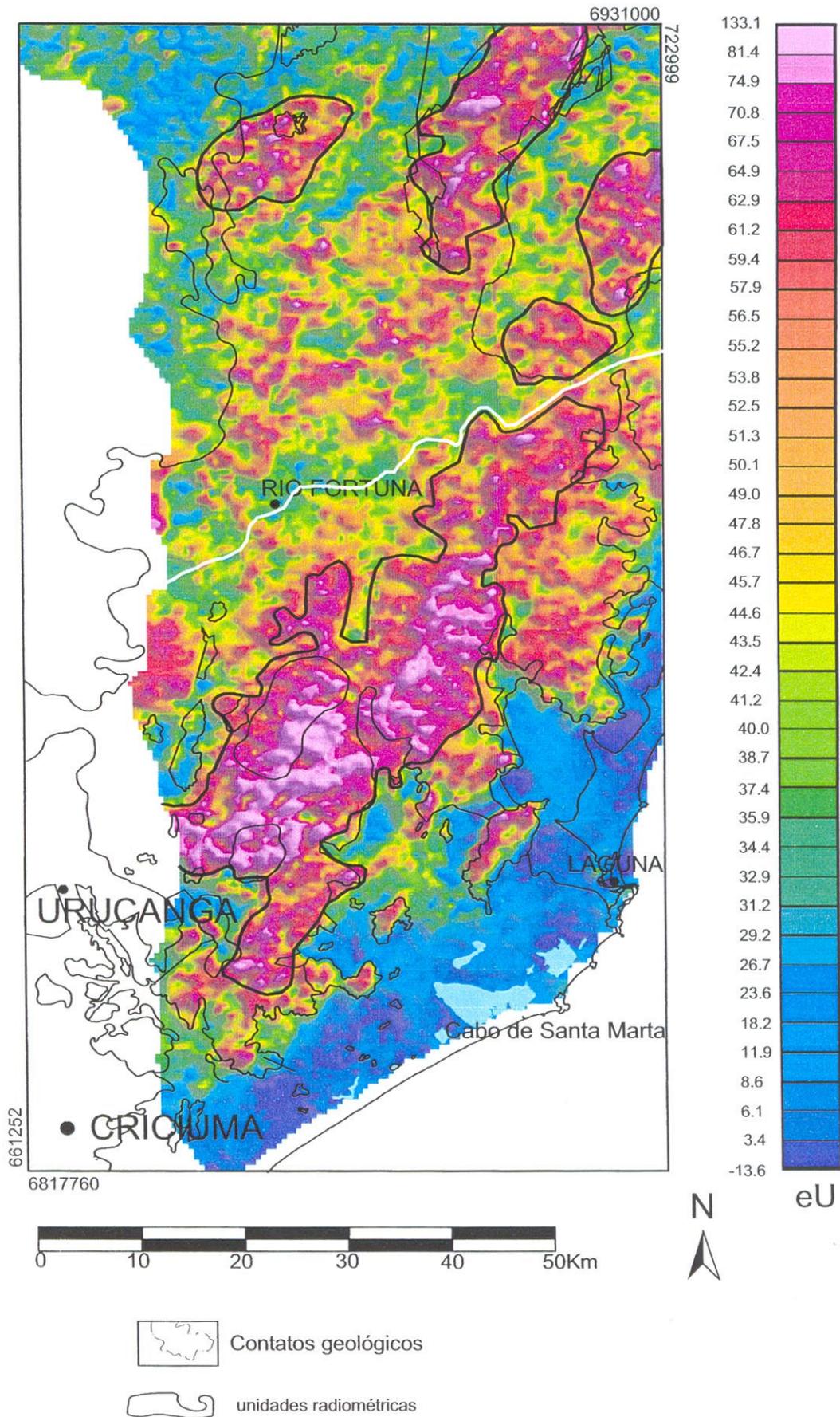
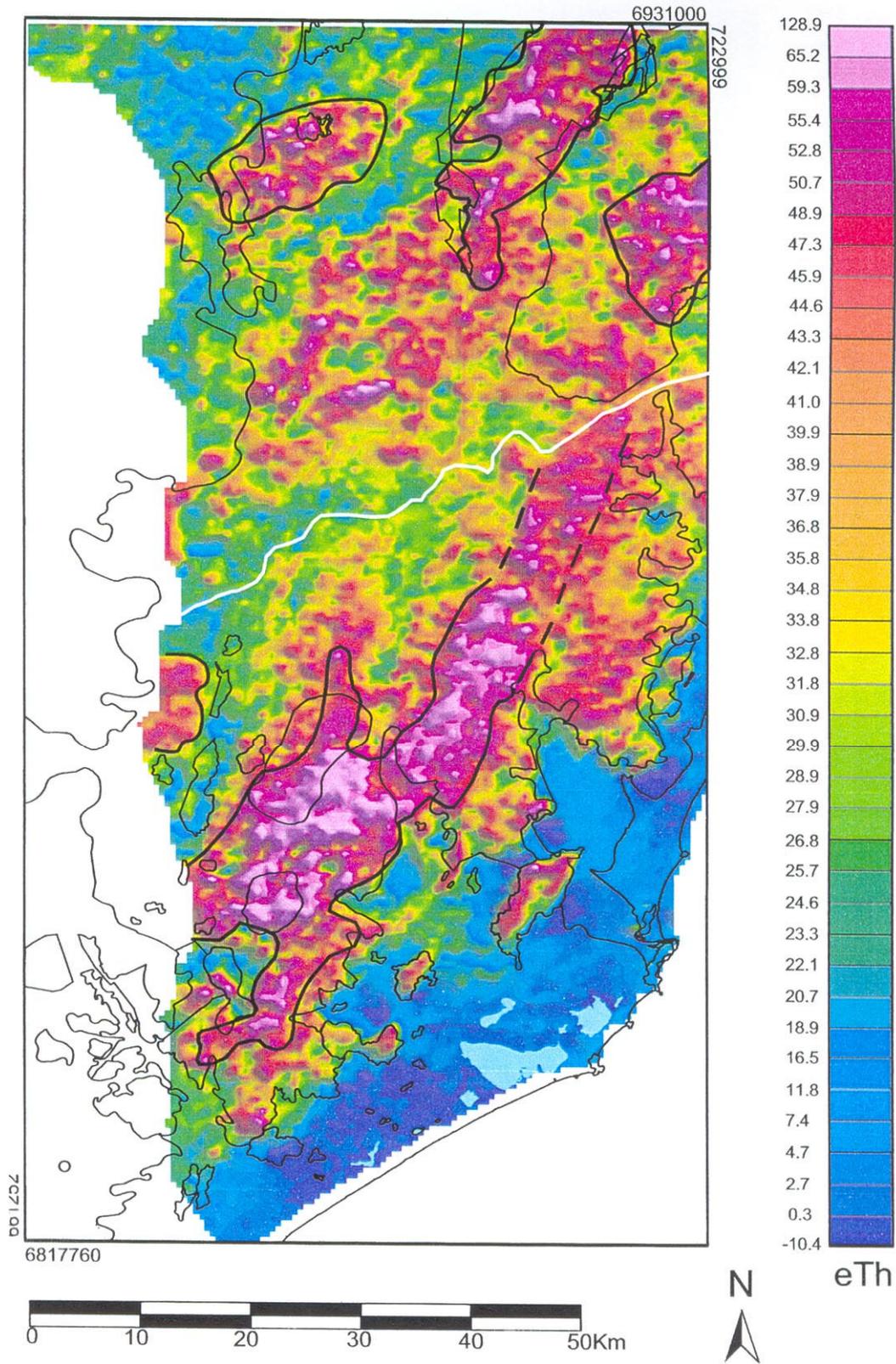


Figura IV.51: Imagem radiométrica – canal urânio



Contatos geológicos

unidades radiométricas

Figura IV.52: Imagem radiométrica – canal tório

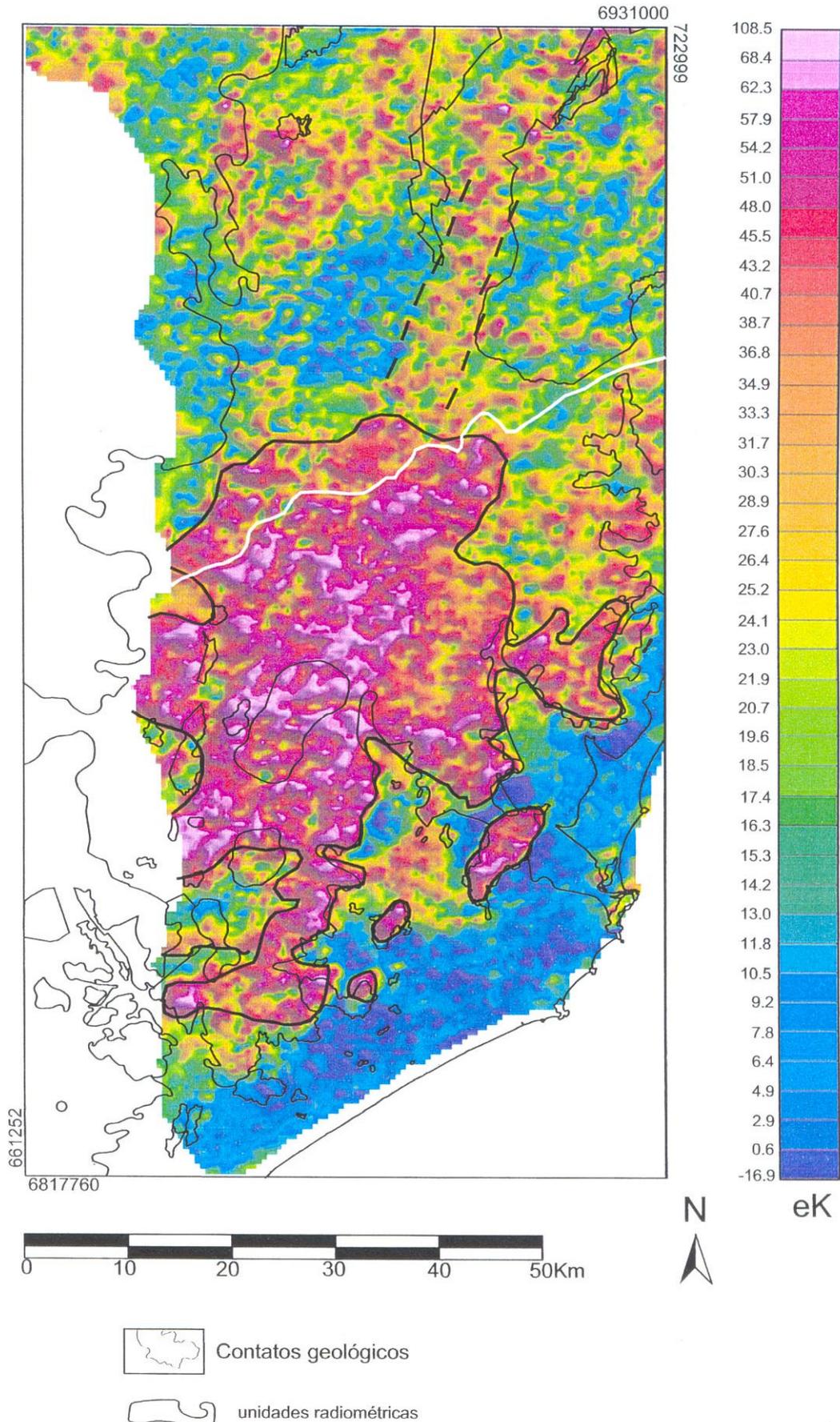


Figura IV.53: Imagem radiométrica – canal potássio

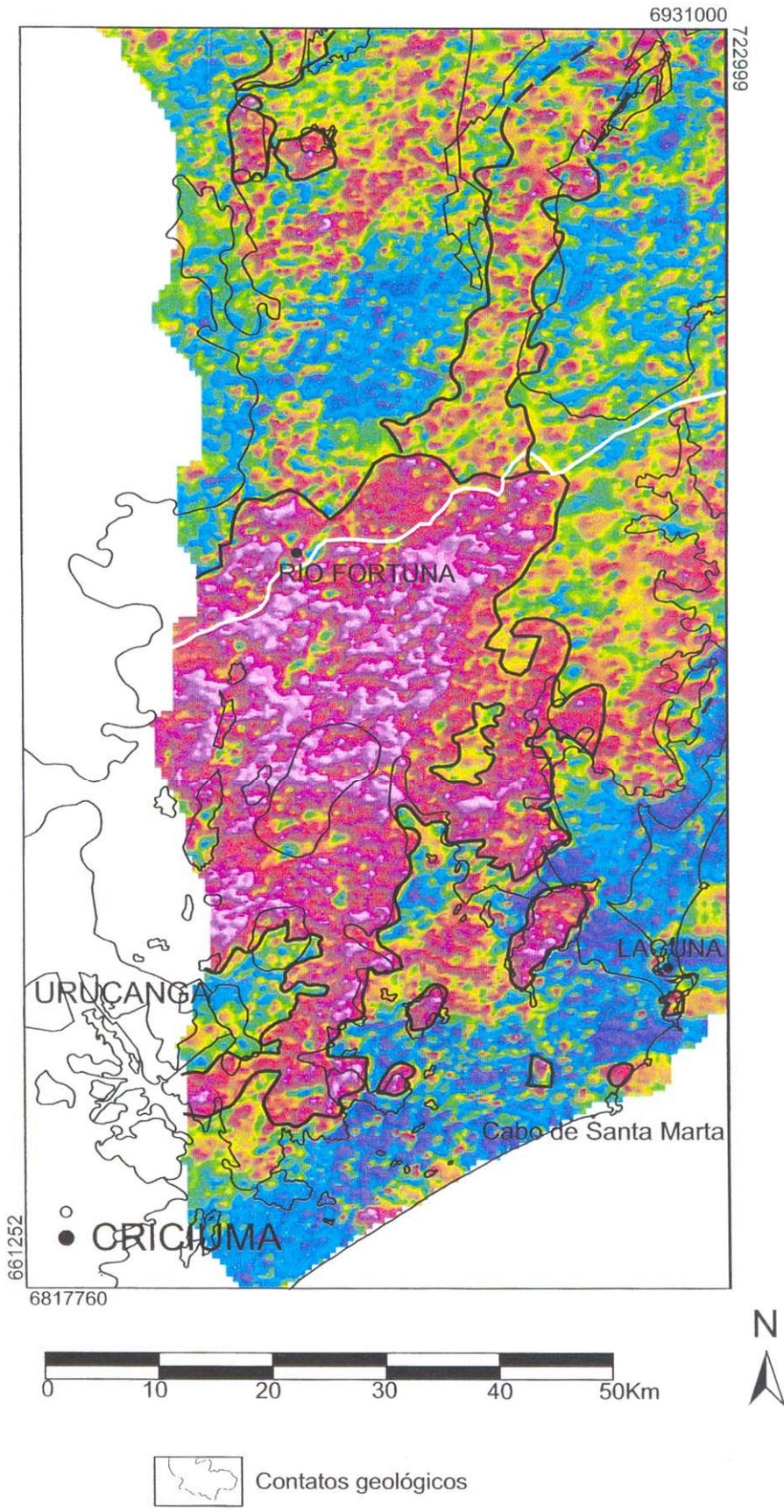


Figura IV.54: Imagem radiométrica – fator F

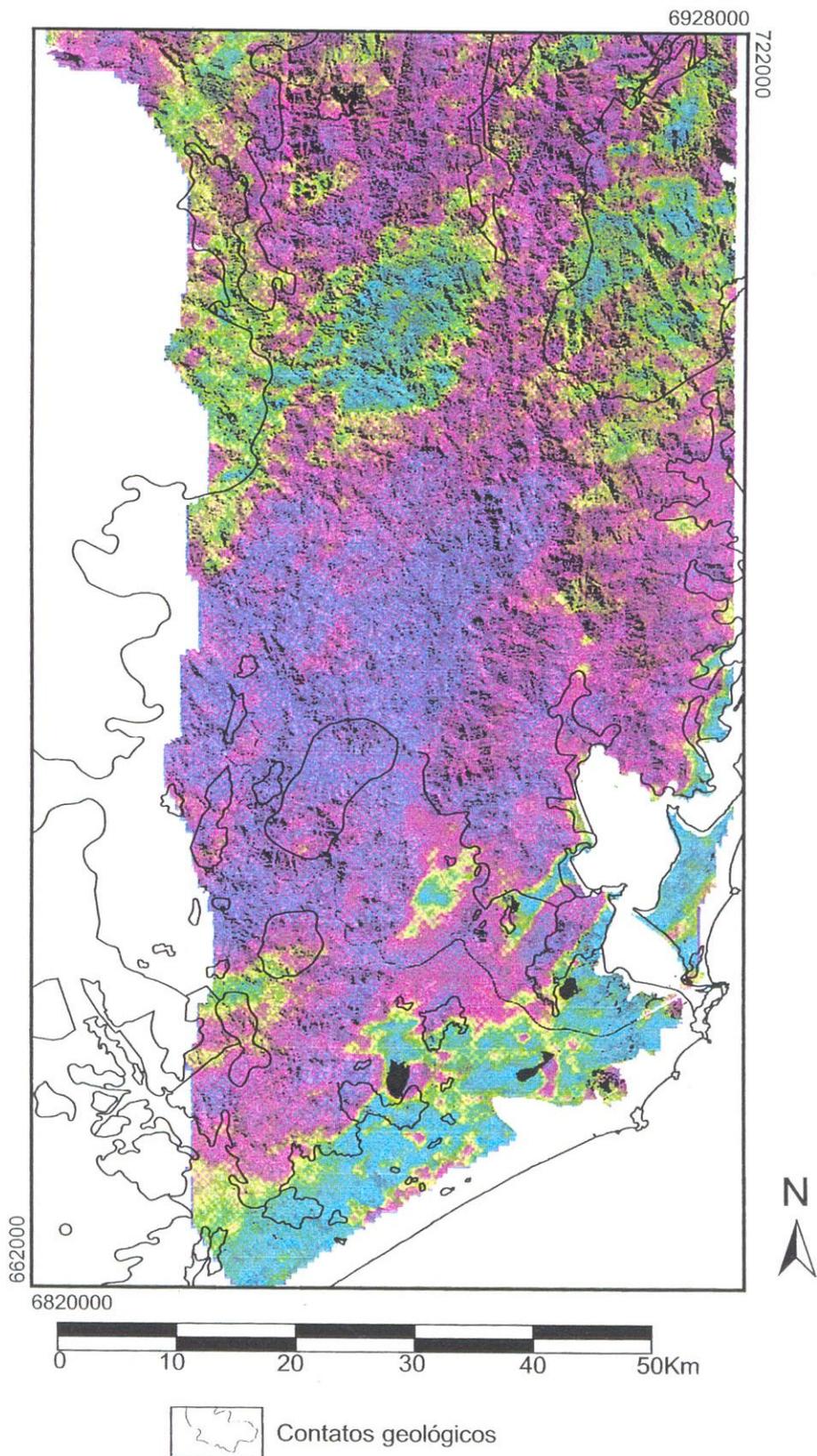


Figura IV.55: Integração via IHS: PC1 versus fator F.