

Compartimentação ambiental por sensoriamento remoto e geoquímica, de áreas contaminadas do vale do rio dos Sinos, RS, Brasil

Marisa Terezinha Garcia de Oliveira¹
Silvia Beatriz Alves Rolim²
Alvaro Meneguzzi³

¹ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS
Rua Inconfidentes 395, 93340-140 - Novo Hamburgo, RS, Brasil
marisa-oliveira@uergs.edu.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS- Instituto de Geociências
Caixa Postal 15001 Av. Bento Gonçalves 9500 Porto Alegre, RS, Brasil.
silvia.rolim@ufrgs.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS Departamento de Engenharia dos
Materiais
Av. Bento Gonçalves 9500 - 91501970 Porto Alegre, RS, Brasil
meneguzzi@ufrgs.br

Abstract. In this article is presented a study on the correlation of data obtained from interpretation of ASTER images and DTM of Sinos valley, south Brazil, and mineralogical and granulometric data from landfill areas in this valley, to explain contamination of soils and water. Punctual contamination with heavy metals Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Ba, Co and As, from pollution around industrial landfills, correlates to large-scale lixiviation in the different compartments of the environment. The compartments are delineated with interpretation of remote sensing images and DTM of the hydrographic basin as well as the fluxes between the landfills and the drainage system. It is suggested how patterns of contamination in the compartments may be modelled and used to prevent, remediate and manage industrial pollution.

Palavras-chave: industrial pollution, sinos valley, remote sensing, geochemistry, poluição industrial, vale dos sinos, sensoriamento remoto, geoquímica.

1. Introdução

Os municípios do vale do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, constituem um pólo industrial da cadeia produtiva do couro mas também local de intensa contaminação ambiental pela deposição de resíduos sólidos industriais. Como estes fatos pontuais - de poluição industrial - se correlacionam a processos de maior grandeza, - a contaminação de toda uma bacia hidrográfica-, que têm sido reportados na imprensa do Rio Grande do Sul? Neste artigo é discutida uma forma efetuar a correlação entre os poluentes e os compartimentos ambientais de uma área da bacia do rio dos Sinos, RS, com as ferramentas do sensoriamento remoto, apoiadas em estudos geoquímicos e de campo.

Os compartimentos são as regiões de diferentes morfologias (formas do relevo) evidenciadas no estudo de imagem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) onde foram localizados, por georreferenciamento, os poluentes pontuais, Aterros de Resíduos Industriais Perigosos (ARIPs). Trata-se aqui de ligar as informações pontuais obtidas de análises geoquímicas dos solos das áreas no entorno dos aterros, aos fluxos estabelecidos entre os diferentes compartimentos ambientais. Caracterizar a contaminação ambiental destas áreas e ainda propor formas de remediar atual poluição ambiental, depende, portanto, do conhecimento da fisiologia da paisagem, ligando informações de diferentes escalas (espaciais e temporais) e diferentes origens (naturais e antrópicas).

2. Metodologia

Inicialmente, foram realizadas pesquisas na Região do vale do rio dos Sinos para reconhecimento de ARIPs em uso e abandonados, com base em informações existentes em órgãos do governo e município (relatórios e fotografias aéreas de grande escala). Numa segunda etapa, técnicas de processamento e interpretação em imagem previamente georreferenciadas do sensor ASTER permitiram a compartimentação de uma parte significativa da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, devido as suas características diferenciadas, desde a nascente até a foz. A compartimentação obedeceu a critérios de diferenças texturais, lineamentos, cobertura vegetal e padrão de drenagem observados em produtos realçados de composições coloridas, de análise de principais componentes e imagem em níveis de cinza (infravermelho próximo). Modelos digitais de terreno (MDTs) integrados aos produtos de sensoriamento remoto auxiliaram na visualização e interpretação, através da observação tridimensional de diferentes tipos de rochas presentes nas unidades da região, bem como informações sobre geometria, elevação, declividade e aspecto das vertentes que potencialmente hospedam, alimentam e conduzem os resíduos dos ARIPs. Além disso, foi verificada a influência dos diferentes aspectos da geologia do terreno na condição dos solos dos ARIP e delimitadas as variações texturais na imagem que correspondem a diferentes tipos de relevo e substrato rochoso.

Amostras de solo, com aproximadamente 100g, foram analisadas por técnicas de difração de Raios X. Nestas, também foi determinada a concentração de metais pesados cromo, zinco, níquel, chumbo, cobre, cobalto, arsênio, bário, poluentes resultantes do curtimento e produção de artefatos de couro.

3. Resultados

No recorte da imagem estudada, a vegetação aparece na cor vermelha, o solo exposto aparece em tons de verde e a mancha urbana, rodovias e outras feições antrópicas aparecem em cor ciano.

Dos ARIPs mapeados, foram selecionados, respectivamente: Vila Kroeff (localizada na planície de inundação do rio dos Sinos em área de abundante vegetação); UTRESA (localizada à leste do rio dos Sinos, próxima às nascentes do arroio Portão) e TRILHOS (localizada às margens do arroio Portão). (**Figura 1**).

Na análise da textura do relevo, feita na **Figura 1**, delimitou-se seis compartimentos ambientais: a mancha urbana (**1**), a planície de inundação do rio dos Sinos (**2**), o compartimento (**3**) de relevo pouco acidentado, com morros arredondados e baixos, o compartimento (**4**) de textura variegada fina, com repetição intensa do elemento textural, o compartimento (**4'**), com textura variegada média. Foi também identificado um lineamento (**5**) de direção aproximadamente 45°NO e o compartimento (**6**) de relevo mais acidentado, com amplitude maior dos vales se comparados com as outras regiões.

A **Tabela 1** sintetiza as características de cada um dos compartimentos (C) delimitados na imagem ASTER, (**Figura 1**) no que diz respeito à textura na imagem, padrão de relevo, tipo de cobertura vegetal, padrão de drenagem e aterro associado.

C.	Textura na imagem	Relevo	Vegetação	Drenagem	Aterro
1	Malha, tecido (urbana)	-----	Escassa, residual	Canais retilíneos	
2	Lisa	Aplainado	Abundante e de alto porte	Rio meândrico e lagos	Vila Kroeff
3	Média com baixa amplitude	Suave	Predomina alto porte	Vales com mata galeria e pequenos lagos de afloramento freático	UTRESA
4	Variegada, manchas arredondadas escuras	Cárstico	Predomina baixo porte (gramínea)	Vales com mata galeria e abundantes pequenos lagos de afloramento freático (drenagem interna)	Trilhos
4'	Variegada, manchas arredondadas escuras	Cárstico	Predomina baixo porte (gramínea)	Vales retilíneos (N45° E) e paralelos, com mata galeria e pequenos lagos de afloramento freático, menos abundantes que em 4	
5	Lineamento	Cristas e vale retilíneos	Abundante de alto porte	Parte do curso do rio dos Sinos se encaixa neste lineamento	
6	Grossa com maior amplitude	Morros	Abundante de alto porte	Drenagem superficial com mata galeria	

O MDT gerado a partir do par estereoscópico da imagem ASTER (bandas 3N e 3B) no programa ENVI 4.0 ilustra os diferentes tipos de relevo da área estudada. (**Figura 2**). As linhas verdes contornam as zonas citadas no texto acima e também na **Tabela 1**.

O Aterro desativado Vila Kroeff situa-se no banhado da planície de inundação do rio dos Sinos, próximo a um lago de planície de inundação, cercado de vegetação abundante, onde foram feitas 4 amostragens.

A amostragem no terreno da UTRESA, foi feita às margens do Arroio Portão, às margens do

Arroio Cascalho, no acesso à UTRESA, e próximo a um reflorestamento de eucalipto.

Os dados da localidade de Trilhos foram obtidos por consulta a um processo administrativo da FEPAM (órgão ambiental do RS) de Licenciamento de recuperação de área degradada.

A **tabela 2** apresenta o teor de metais Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Ba, Co e As nas amostras de solo da Vila Kroeff (K) e da UTRESA (U); a **tabela 3** apresenta a granulometria dos solos amostrados e a **tabela 4** apresenta os teores de Pb, Hg e Cr do lixo de Trilhos.

Quanto à mineralogia dos solos, foram identificados na fração argila da Vila Kroeff, esmectita, caolinita, ilita e quartzo, e na UTRESA, esmectita, caolinita, vermiculita e quartzo.

Tabela 2 Metais nos solos das áreas amostradas em mg/kg

metais	K1	K2	K3	K4	U1	U2	U3	U4
Pb	70	23	42	40	7	18	11	6
Ni	44	13	21	22	3	6	3	1
Co	32	nd	12	15	31	21	5	1
Cu	94	41	35	42	4	9	4	1
Zn	355	57	81	90	3	25	7	2
As	19	5	10	11	2	21	22	5
Cr	1744	214	225	205	104	88	8	3
Ba	467	303	438	406	34	153	34	11

Tabela 3 Dados granulométricos das amostras, em %.

Amostra	K1	K2	K3	U1	U2	U3	U4
Areia grossa	2	44	43	33	3	26	38
Areia fina	1	17	15	58	58	45	45
Silte	31	9	10	1	30	10	7
Argila	66	30	32	9	9	19	10

Tabela 4 Análises de três amostras de resíduos sólidos da área do antigo lixão Trilhos.

amostra	01-A	02-B	03-C
Pb (mg/kg)	151	86	88
Cr(mg/kg)	0,24	0,56	0,13
Hg(mg/kg)	0,43	1,7	0,74

5. Discussão e Conclusões

Os produtos de sensoriamento remoto gerados, integrados ao MDT permitiram a delimitação das principais manchas urbanas da área de estudo (**Figura 1**). Além das manchas urbanas, salienta-se a planície de inundação do rio dos Sinos (**2**) ao norte, principalmente, pela textura lisa apresentada, que corresponde a um terreno arenoso argiloso de depósitos aluvionares, e ainda, pela abundância de vegetação de alto porte (biomassa) e pequenos lagos associados ao padrão meândrico do rio dos Sinos. Nesta zona geomorfológica, inserida na Unidade Geomorfológica Planície Lagunar (Castro Paula, 1995), se situa a Vila Kroeff, mancha amarela na imagem, em meio à biomassa exuberante da planície de inundação. A tonalidade amarelo clara resulta da mistura espectral nas respostas da vegetação e do saibro vermelho de selamento do aterro (saibro e vegetação representados pelas cores verde e vermelha, respectivamente). Ao sul desta planície fluvial, nas porções lindeiras à Sapucaia do Sul, Canoas e Esteio, alterações significativas estão

presentes no padrão da vegetação, devido ao intenso uso agrícola, com remoção da vegetação natural.

A nordeste da imagem, entre a mancha urbana de Novo Hamburgo e a mancha urbana de Portão, encontra-se a UTRESA. A resposta espectral deste alvo é verde, o que indica a presença de solo exposto segundo três formas alongadas situadas entre dois tributários de 1ª ordem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, o arroio Portão, a leste, e o arroio Cascvalho, a oeste. Nesta região **(3)** o relevo é pouco acidentado, com morros arredondados e baixos, bastante vegetado, com vegetais de grande porte, exceto na área da UTRESA.

A sul de Portão, o terreno apresenta a peculiaridade de ter uma textura variegada devido a manchas abundantes e arredondadas de zonas mais escuras que correspondem a porções úmidas dos fundos dos vales de baixa amplitude **(4)**. Tem-se uma drenagem interna, identificada por estas manchas úmidas, em depressões no terreno, e também drenagem superficial, de arroios, delimitada por mata ciliar. Dentre estes, se salienta o arroio Portão, de curso retilíneo, nascendo nos terrenos a Sul da UTRESA e desaguardo no rio dos Sinos. O solo desta região apresenta característica de ser úmido nas depressões arredondadas e provavelmente mais seco e permeável, nos morros baixos. Nesta região situa-se o aterro de resíduos Trilhos, em que foram identificados Pb, Cr e Hg nos percolados **(Tabela 4)**.

Na outra margem do rio dos Sinos, a nordeste da área, o terreno apresenta as mesmas características da área onde se situa o aterro Trilhos, apenas a densidade das depressões úmidas é menor **(4')**, mas a sudeste da área, especialmente no entorno do Arroio Sapucaia **(4'')**, as depressões úmidas são abundantes.

O lineamento **(5)** de direção aproximadamente 45°NO que aparece, na imagem, separando a zona de drenagem interna e textura variegada, de uma zona de morros de maior amplitude, a sul e também condicionando um trecho do rio dos Sinos, é, provavelmente, uma falha no terreno. Finalmente, a zona de relevo mais acidentado **(6)**, de amplitude maior dos vales se comparados com as outras regiões, caracteriza os morros testemunhos de rochas mais resistentes, os vulcanitos da Formação Serra Geral.

Foi no curso médio do rio dos Sinos onde se deu o assentamento do pólo coureiro calçadista do RS. Aí também se intensificou o descarte de resíduos relacionado às taxas de obsolescência elevadas, sendo os banhados os locais escolhidos para a disposição de lixo urbano e industrial (Verdum *et al* 1990).

A vila Kroeff recebeu entre 1977 a 1989, resíduos urbanos e industriais de Novo Hamburgo. Em 1989 o local foi interditado pelo ministério público e em 1994 a Prefeitura de Novo Hamburgo foi intimada a fazer um EIA da área para planejar a recuperação. No EIA feito pela NAPEIA em 1996, são descritos solos constituídos por sedimentos aluvionares holocênicos de coloração acinzentada devido às condições redutoras de um lençol freático mais elevado. Os dados obtidos pelos presentes autores apontaram que os solos da planície aluvial, na região dos lagos, têm uma granulometria predominante de silte e argila **(Tabela 3)** o que confirma as tonalidades mais escuras, na imagem ASTER, da planície de inundação nesta área. Por outro lado, as argilas são conhecidas por sua habilidade de adsorver metais pesados. Bradl (2004) cita a adsorção como o principal mecanismo de retenção do Cd em baixas concentrações nos solos e que o Pb, Mn e Zn exibem forte afinidade com as argilas e óxi-hidróxidos de ferro. Esta ligação poderia explicar os altos valores de Pb, e Zn encontrados nos solos da planície aluvial no entorno da Vila Kroeff. Também a anomalia de Cr de 1744 mg/kg encontrada no ponto K1 pode ser atribuída à capacidade das fases do solo com hidroxilas, as esmectitas e caolinitas, a adsorverem especialmente o Cr VI, conforme Bradl (2004).

Todos estes metais são, por sua vez, originados de uma camada de lixo com espessura média de 5,5m entre o solo mais aterro com espessura média de 1 m, e a base do material aterrado, que é de rochas areníticas da Formação Sanga do Cabral (Castro Paula 1995 *apud* NAPEIA, 1996, p.19).

Os trabalhos de campo na UTRESA mostraram que a vegetação da área é caracterizada pela mata ciliar nas margens dos arroios, aspecto evidenciado na análise da imagem, ainda campos e áreas cultivadas com eucaliptos e acácias. Os solos apresentam certa diversificação, são profundos, arenoso a marrom avermelhado e argilosos. O relevo é de morros arredondados e entre as elevações formam-se depressões de solos úmidos, aspecto observado na imagem ASTER. De acordo com Schnack (1991 *apud* Krieger, 2000, p.60), o substrato rochoso da área é constituído por arenitos impuros da Formação Botucatu de coloração avermelhada, do qual foram encontrados fragmentos nos solos. Freitas *et al* (2006) descrevem, no Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, em Estância Velha, rochas correlacionadas com a Formação Pirambóia, de origem eólica e de menor potencialidade hídrica quando comparadas com a Formação Botucatu. Compõem-se, as rochas, de camadas siltico-arenosas avermelhadas com matriz argilosa com arenitos finos a muito finos, avermelhados, com cimento calcífero. A ausência de Cr nos solos da UTRESA poderia ser explicada pelo tipo de solo mais arenoso, formado de rochas areníticas, conforme as análises granulométricas (**Tabela 3**), e interpretado na imagem ASTER, pelos morros arredondados e secos, intercalados a depressões úmidas. Neste tipo de terreno, pode-se hipotizar que ocorre uma lixiviação constante e contínua de cromo III e/ou VI, provavelmente vinda da área do aterro, para dentro dos dois arroios, respectivamente arroio Portão e arroio Cascalho. Também a mesma explicação, terreno mais arenoso, identificado na imagem ASTER, serviria para a explicação de que os solos do entorno da UTRESA serem menos contaminados que os da planície de inundação próximo à Vila Kroeff. Os solos mais arenosos lixiviam os metais que vão direto para os cursos de água; os solos mais argilosos adsorvem os contaminantes. Aqui se teria uma explicação para a catástrofe ambiental que atinge a bacia hidrográfica do rio dos Sinos no RS. Os depósitos de resíduos industriais e urbanos dispostos na área sem controle, há muito tempo, produzem percolados nos terrenos mais arenosos, sendo conduzidos diretamente aos rios, causando a contaminação da biota, e dos ecossistemas, com conseqüente morte de milhares de peixes encontrados mortos, em outubro de 2006.

Referências

- Bradl, H. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents **Journal of Colloid and Interface Science** v. 277, p.1-18, 2004.
- Castro Paula, C de **Caracterização Ambiental da Bacia de Drenagem do rio dos Sinos**. 1995 Universidade do rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia, São Leopoldo, 1995
- Freitas, Marcos Alexandre de, *et al* **Mapa Hidrogeológico Do Rio Grande Do Sul: Um Avanço No Conhecimento Das Águas Subterrâneas No Estado**. Porto Alegre: CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2005 Disponível em < www.cprm.gov.br/rehi/congresso/mapa_hidro_rs.pdf > Acesso em 05/Agosto/2006.
- Krieger, E. F. **Avaliação da Contaminação das Águas subterrâneas na Área de influência da Usina de Tratamento de Resíduos S/A UTRESA, em Estância Velha, RS**. 2000. 174p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- Napeia projetos ambientais **Estudo de Impacto Ambiental da Área do Antigo “Lixão” na Vila Kroeff, Novo**

Hamburgo, RS In: Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Processo 3232/96.9, Porto Alegre: FEPAM, 1996.

Verdum, R. ; Frantz, D. S. V. R. ; Nunes, J. C. . Avaliação da localização de áreas degradadas no município de Novo Hamburgo/RS, aterro sanitário da Vila Kroeff- Bairro Santo Afonso. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, *Anais* 1990. v. 2. p. 404-407.

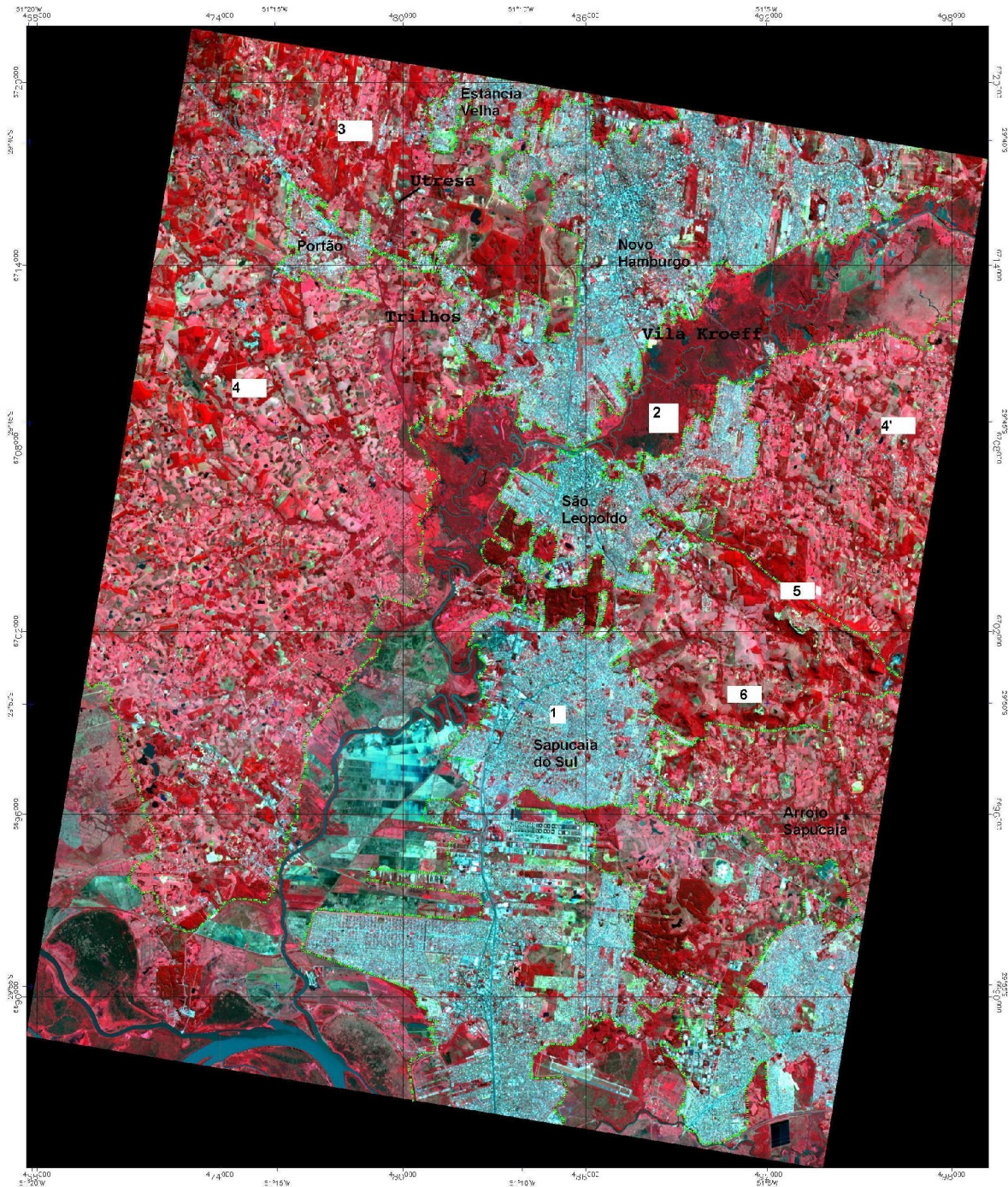


Figura 1 Composição colorida ASTER, georreferenciada, de parte da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com o traçado de diferentes compartimentos do ambiente.

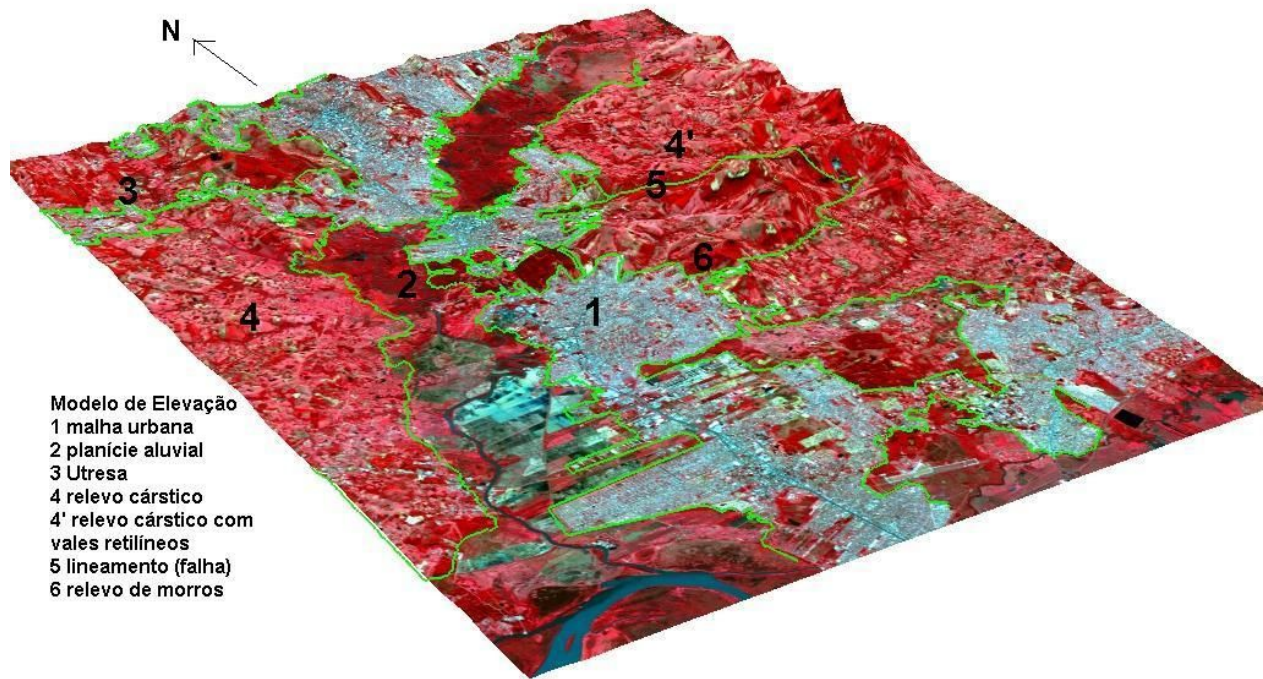


Figura 2 MDT gerado a partir do par estereoscópico da imagem ASTER (bandas 3N e 3B) no programa ENVI 4.0