



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS E DE VEGETAÇÃO NO
MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

LUIZ FELIPE SIQUEIRA MARQUES REGO

Orientadora: Marina Rolim Bilich Neumann

BRASÍLIA

2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS E DE VEGETAÇÃO NO
MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

LUIZ FELIPE SIQUEIRA MARQUES REGO

Orientadora: Marina Rolim Bilich Neumann

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA
JULHO/2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS E DE VEGETAÇÃO NO
MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

LUIZ FELIPE SIQUEIRA MARQUES REGO

Monografia de graduação em agronomia submetida à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO POR:

Marina Rolim Bilich Neumann, Prof^a Adjunta (FAV-UnB).

email: marinabilich@unb.br (Orientadora)

Patrícia Maurício Campos, Mestre em Ciências Agrárias.

email: patymauricio@gmail.com (Examinador Externo)

André Luiz Farias de Souza, PhD em Sensoriamento Remoto.

email:andrelfsouza@gmail.com (Examinador Externo)

Brasília

JULHO/2013

AGRADECIMENTOS

À Dra. Marina, pelo desafio recíproco proposto e de bom grado aceito, à Fran pela organização e apoio na gerência da informação, ao IG pela concessão dos dados, e a todos que contribuíram para a realização desta pesquisa com paciência, conselhos, e trabalho.

“Dream in a pragmatic way”

Adouls Huxley

Lista de Figuras

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DA CONFECÇÃO DOS DADOS.....	31
FIGURA 3 – ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE - (TWI).....	33
FIGURA 4 – SOBREPOSIÇÃO DO TWI COM A CLASSE DOS LATOSSOLOS	36
FIGURA 5 – SOBREPOSIÇÃO DO TWI COM A CLASSE DOS CAMBISSOLOS	38
FIGURA 6 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO CRUZADA E TABULAÇÃO DO TWI COM O MAPA DE SOLOS.....	40
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO:MAPA DE SOLOS DA EMBRAPA – (REATTO, 2000)	42
FIGURA 8 - MAPA DE SOLOS EVIDENCIANDO AS CLASSES DE SOLOS HIDROMÓRFICOS EM COMPARAÇÃO COM A CLASSIFICAÇÃO RESULTANTE DO PROCESSAMENTO REALIZADO PARA O PVI.....	43
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA CONFECÇÃO DOS DADOS	51
FIGURA 11 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO COM EFEITO “ <i>HILLSHADE</i> ”	55
FIGURA 12 - TWI GERADO A PARTIR DOS PARÂMETROS ACUMULAÇÃO DE FLUXO E DISTÂNCIA VERTICAL ATÉ A LINHA DO CANAL	56
FIGURA 13 – CLASSIFICAÇÃO CRUZADA E TABULAÇÃO DO TWI (A PARTIR DOS PARÂMETROS ACUMULAÇÃO DE FLUXO E VDCN), COM O MAPA DE SOLOS	57
FIGURA 14 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DO MAPA DE DISTRIBUIÇÃO.....	58
FIGURA 15 – CLASSIFICAÇÃO TWI (VDCN) COM INTERVALO DE RUÍDO EXCLUÍDO	60

Lista de Tabelas

TABELA 1 - DEMANDAS POR INFORMAÇÃO QUANTITATIVA DE SOLOS EM DIFERENTES RESOLUÇÕES E ESCALAS.	14
TABELA 2 – FAIXAS DE VALORES DA TABULAÇÃO E CORRESPONDÊNCIA COM CLASSE DE SOLO	39

Lista de equações

EQUAÇÃO 1– PVI	28
EQUAÇÃO 2 – TAXA DO FLUXO SATURADO DA SUBSUPERFÍCIE DE DECLIVE	47
EQUAÇÃO 3 – DÉFICIT DE ARMAZENAMENTO LOCAL.....	47
EQUAÇÃO 4 - TRANSMISSIVIDADE	48
EQUAÇÃO 5 - ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE SIMILARIDADE HIDROLÓGICA	53

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo Geral	12
1.1.1 Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE.	13
2.1 Levantamento de solos no Brasil	13
2.1.1 Histórico.....	13
2.1.2 Tendências e Perspectivas	15
2.2 Solos versus ocupação humana no Cerrado	19
2.3 O Uso do Solo e Sustentabilidade	21
CAPÍTULO 3 - COBERTURA VEGETAL E ÍNDICES TOPOGRÁFICOS COMO SUBSÍDIO PARA O MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS, NO DISTRITO FEDERAL.	25
3.1 Resumo	25
3.2 Abstract	26
3.3 Introdução	27
3.4 Materiais e Métodos	29
3.5 Resultados e Discussão	32
3.6 Conclusões	44
CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS HIDROMÓRFICOS, NO DISTRITO FEDERAL.....	45
4.1 Resumo	45
4.2 Abstract	45
4.3 Introdução	46
4.4 Materiais e Métodos	49
4.5 Resultados e Discussão	54
4.6 Conclusão	61
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES GERAIS DO ESTUDO	62
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A ocupação humana desordenada, caracterizada por aglomerações urbanas em expansão, que se estendem progressivamente para áreas de risco ou de sensibilidade ambiental, aliada à técnicas exploratórias do solo cada vez mais degradantes ambientalmente, em conjunto como uso intensivo e ininterrupto das terras para atender às necessidades de mercado, denota a crescente valorização do solo. Sublinhando a necessidade de adoção de medidas de proteção deste recurso, bem como um direcionamento consolidado na adoção de práticas de gestão e manejo bem estruturadas.

Dos problemas causados pela limitação dos diversos fatores envolvidos no planejamento da ocupação humana podem-se destacar: a contaminação de mananciais de água superficiais e subterrâneos, dada tanto pela inadequada deposição dos resíduos e efluentes antrópicos, como do esgoto sanitário, resíduos sem tratamento, ou ainda insumos agrícolas e industriais nos corpos hídricos, quanto pela deposição desses resíduos em áreas de proteção e/ou sensibilidade ambiental; retirada da cobertura vegetal natural, que com o manejo inadequado, pode contribuir para o favorecimento dos processos erosivos, compactação, e impermeabilização dos solos, e por conseguinte o assoreamento dos corpos d'água. Podendo prejudicar assim os fluxos da fauna e da flora nativa, e a biodiversidade, o que pode refletir em redução da qualidade de vida das populações que se submetem a estas ocupações não planejadas (GUERRA e CUNHA, 2001).

Este contexto denota uma necessidade de reunir conhecimentos em diversas frentes de atuação, em conjunto com uma necessidade de percepção concreta, baseada na internalização da ideia da simbiótica interação do homem com o meio natural, de forma a delinear a estrutura de classes que extrapola uma construção social, e que hoje se mostra como fator de segregação de danos e riscos ambientais ao longo do planeta.

Tal relação também atinge o Brasil, ao considerar-se que a contradição evidente, e deliberadamente impetrada no inconsciente coletivo, no decorrer das décadas de industrialização no país, que, por relacionar direta e invariavelmente o crescimento econômico e o desenvolvimento humano, se mostrou eficaz neste processo de segregar povos e prejuízos ambientais, pois os impactos decorrentes de

atividades antrópicas são mais percebidos pelos setores menos favorecidos da população (GUERRA e CUNHA, 2001).

Observando-se o crescimento vertiginoso das grandes metrópoles brasileiras, que continuam atraindo a população para estes grandes aglomerados urbanos, denota-se a necessidade de ordenar a ocupação do território e o uso dos recursos naturais de forma assertiva e justa por parte dos gestores públicos. No Distrito Federal, onde se localiza a área de estudo, a ocupação territorial desordenada vem sendo um das principais causas de degradação ambiental (ROIG, et al, 2009)

O recurso Solo, por ser lentamente renovável, e possuidor de características inerentes ao local e ao material de origem, que são moduladas por intemperismo, relevo, e ação antrópica, torna-se um recurso de complexa valoração, deste modo, fazem-se necessárias abordagens mais acuradas e pontuais, adequadas às realidades e ao contexto a que é submetida a área em análise.

Tendo em vista os avanços nas tecnologias de análise e modelagem ambiental por meio de dados oriundos de diversas fontes, que podem ser manipulados, e integrados em ambientes de processamento variados, a capacidade de monitoramento e gestão das áreas de sensibilidade ambiental, frente aos avanços da ocupação humana sem planejamento, vem sendo aumentada progressivamente.

Este aumento na disponibilidade de dados e de tecnologias deve ser visto com o foco na utilização destes recursos de forma confiável e crítica, com a necessidade de integração da ciência e tecnologia com os campos de pesquisa e desenvolvimento de ferramentas práticas de apoio aos levantamentos ambientais, nos quais o parâmetro solo, e relevo, são fatores determinantes para o estudo completo do potencial agrícola e da dinâmica ambiental do local.

Embora a utilização difusa destas ferramentas requeiram uma maior consolidação metodológica, e um maior embasamento sob uma perspectiva do arcabouço legal que a que é submetida esta problemática. Surge daí a necessidade de métodos de mapeamento mais sistemáticos quanto à delimitação de unidades de solos, reduzindo o fator de subjetividade, fornecendo dados confiáveis para o mapeamento digital de solos. Ao utilizar-se esta abordagem, modelos híbridos vêm sendo sugeridos, a fim de adicionar um caráter quantitativo aos levantamentos, que melhore a capacidade de predição das classes de solos.

Nesse sentido, este trabalho surge com o intuito de promover a utilização crítica de dados provenientes de análises geoambientais processados por meio sistemas de informações geográficas a exemplo dos mapas pedológicos digitais, como uma variável auxiliar no processo de planejamento do uso da terra, e de melhoria da base de dados ambientais existente.

1.1 Objetivo Geral

Este estudo visa elaborar o mapa de solos da Bacia do Rio Jardim, Distrito Federal, por meio de técnicas de geoprocessamento, evidenciando as classes de solos hidromórficos, para auxiliar em análises do ordenamento territorial no Distrito Federal.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Melhoria da escala do mapa de solos da Bacia do Rio Jardim;

- Aplicação de técnicas de geoprocessamento para identificação de solos hidromórficos;

- Avaliar a pertinência da utilização dos índices de representação da paisagem em evidenciar corretamente os locais que apresentem uma maior sensibilidade à pressão antrópica, como áreas de solos hidromórficos, muitas vezes coincidentes com áreas de Preservação Permanente;

- Avaliar as ferramentas de geoprocessamento utilizadas neste estudo, para o mapeamento digital de solos.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE.

2.1 Levantamento de solos no Brasil

2.1.1 Histórico

O projeto de mapeamento dos solos no Brasil teve seu início na década de 1950, com o Instituto Agronômico de Campinas e o antigo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS, que teve origem na Comissão de Solos do Ministério da Agricultura, e originou o Centro Nacional de Pesquisa de Solos, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. O Programa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos Brasileiros teve início nos Estados do Rio de Janeiro, em 1954 e no Distrito Federal, em 1955, angariando representatividade no âmbito da ciência do solo, e contribuindo para a elaboração da legenda do Mapa de Solos do Mundo - FAO/UNESCO. E classificação de algumas pedoformas genéricas dos solos tropicais (RAMOS, 2003).

O autor acima citado ainda enumera os seguintes projetos de mapeamento de solos desenvolvidos na década de 60 a 80, sendo: o Mapa Esquemático dos Solos das Regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste do Brasil; o Mapa de Solos do Brasil na escala 1:5.000.000, em 1981; e o projeto RADAMBRASIL com levantamentos de solos na escala 1:1.000.000 de 31 folhas de sistema de projeção UTM. Após 1981

O SNLCS publicou levantamentos de solos dos Estados do Paraná, Maranhão e Piauí, enquanto o Projeto RADAM publicou, até 1987, mais 12 folhas referentes aos volumes de números 26 a 34.

Denota-se diante do exposto, o desenvolvimento da ciência do solo no Brasil, a partir dos anos 50, contexto este paralelo com o desenvolvimento econômico e territorial do país, sendo que tais projetos encontram-se em escalas grandes, é então percebida a necessidade difícil de ser sanada quando o método utilizado é o de realizar-se mapeamentos a nível de bacia hidrográfica, ou até mesmo de propriedade, levantamentos estes que devem ser padronizados, a fim de compor uma base de dados mais detalhada em nível local, bem como, a exemplo de outros países, de compor uma base de dados integrada num sistema nacional, a uma escala padrão, e ao mesmo tempo abrangente.

O primeiro levantamento de solos foi conduzido através dos métodos e procedimentos do manual de levantamento de solos - Soil Survey Staff (1951). Este levantamento foi conduzido por Mendes e seus colaboradores, através de interpretações multipropostas relacionadas com a fertilidade, conservação, e manejo para uso agrícola do solo em Itaguaím no Rio de Janeiro (MENDES et al., 1954), nesse levantamento, as classes de solos, supostamente séries de solos, foram definidas de acordo com a textura, sequência de horizontes, profundidade, reações, consistência, estrutura, e características adicionais, como declividade, grau de concreção, e erosão, estes parâmetros foram definidos como as fases de unidades de mapeamentos de solos (LAGACHERIE e MCBRATNEY, 2006).

Apesar do desenvolvimento de tecnologias no âmbito do processamento de informações geográficas, e do avanço de conhecimentos no campo do geoprocessamento, que definem as técnicas de Pedometria, a existência de informações sobre o solo são ainda deficitárias em projetos agrícolas e ambientais, principalmente em nível de propriedade, muitas vezes pela ausência de bases de dados detalhados suficientemente.

O conceito de escala deve ser tratado, quando referente a representações computacionais de solos, como sendo relacionado ao conceito de resolução espacial (MICHELON, 2010).

Martinho (2006) relata que a necessidade de informação quantificada sobre solos varia conforme o propósito do projeto, assim como a adequação de resolução espacial e escala.

Tabela 1 - Demandas por informação quantitativa de solos em diferentes resoluções e escalas.

Nível	Finalidade	Resolução	Escala
Nacional/continental/Global	Mudanças globais/ segurança alimentar	>2 km	> 200 km
Regional/Represas/paisagem	Meio Ambiente / Bacia Hidrográfica	20 m – 2 km	2-200 km
Local	Agricultura de precisão	< 20m	2 km

Fonte: Adaptado de(MICHELON, 2010)

A realização de levantamento de solos no Brasil retoma uma importância pronunciada para a exploração agropecuária, frente ao desenvolvimento de tecnologia de produção, pois o caráter de conservação do solo vem se mostrando determinante na prospecção do valor econômico nas propriedades rurais e urbanas. Deste contexto emerge a preocupação com a continuidade da produção, em detrimento da limitada visão do atendimento à demanda sob quaisquer condições. Deste modo, para auxiliar no levantamento das nuances ambientais e agronômicas do território, se torna necessária a construção de uma metodologia mais quantitativa, e específica para cada área analisada, sendo os desdobramentos desta nova demanda evidenciados na sequência.

2.1.2 Tendências e Perspectivas

Levantamentos tradicionais de solos podem ser pensados como um exercício de modelagem envolvendo métodos científicos e um elemento de arte (WILDING, 1985). Levantamentos de campo requerem modelos mentais com os atributos da paisagem, formulando hipóteses que são testadas de acordo com a verdade de campo. O modelo pode ser reavaliado e reformulado para ser uma representação adequada da realidade. Assim desde a década de 60 vem se desenvolvendo a ciência da Pedometria, que é uma ferramenta para o levantamento de solos, esta técnica lida com incertezas que são devidas à uma variação determinística ou estocástica, (ROIG et al., 2009).

O conceito de determinismo remete às relações causa e efeito, sendo derivado deste a definição de co-determinismo, que se refere à teoria dos processos, com relações de retroalimentação em que é realizada uma mesclagem da definição de causa e efeito. Para Roig et al. (2009), a pedologia vem demonstrando recentemente a necessidade de sinergia com a pedometria, se sobrepondo, e requerendo um aumento na aplicação de técnicas com o uso de sistemas computacionais e o avanço dos sensores orbitais.

Então no âmbito da utilização de modelos numéricos para inferir as variações espaciais e temporais dos tipos e propriedades dos solos a partir de observações e

do conhecimento das variáveis ambientais correlatas, o estudo quantitativo das características do solo é denominado pedometria, o que consiste no desenvolvimento de modelos numéricos ou estatísticos das relações entre variáveis ambientais e o solo. incluindo técnicas de geoestatística.

O mapeamento dos solos é de importância crucial no planejamento do seu uso e na avaliação dos impactos ambientais a que estes usos expõem o recurso em questão. Sendo assim, as decisões sobre o uso da terra se baseiam primariamente na avaliação do seu potencial de utilização a partir de seus caracteres pedomorfogenéticos em conjunto com uma série de dados derivados do terreno e das características edafoclimáticas e econômicas da exploração a que o solo é submetido.

O mapeamento de solos encontra nessa realidade, frente ao contexto aqui discutido, o que figura, frente a uma futura escassez de recursos utilizáveis, em conjunto com uma crescente degradação ambiental e uma abundante disponibilidade de riquezas naturais nos países em vias de desenvolvimento, um desafio no sentido de deter a responsabilidade em auxiliar na gestão da utilização responsável deste valioso recurso tanto em termos de conservação como em termos de uso consciente.

Nos Estados Unidos o mapeamento de solos tem sido realizado geralmente de forma manual para áreas de interesse, o que se torna um processo caro e difícil, especialmente para grandes áreas. Os limites entre as classes de solos são geralmente inaccurados, e a consistência temática é difícil de se atingir. Hoje, os processos de digitalização de delineamentos de solos baseados em quadrângulos de ortofotos digitais, que são ortofotos corrigidas para uma extensão definida (7,5 x 7,5”) alinhadas e retificadas, auxiliam na correção desses limites mal definidos. Tal método é amplamente utilizado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*USDA –United States Department of Agriculture NRCS - Natural Resources Conservation Service*) na elaboração de mapas temáticos de solos, e configura uma tendência dos mapeamentos a atingir aproximações que se utilizem das ferramentas tecnológicas disponíveis para o auxílio na aquisição de confiabilidade e acurácia dos mapeamentos convencionais (NIZEYIMANA et al., 2002).

No Brasil, os investimentos em mapeamento de solos se tornaram menos expressivos, à medida que foram direcionados prioritariamente para linhas de pesquisa voltadas para a fitotecnia, e melhoramento de cultivares, devido à uma demanda por técnicas produtivas mais eficientes, constituindo assim um desafio, e

uma oportunidade para o advento do mapeamento digital de solos. O levantamento de solos é um prognóstico da distribuição destes no espaço como corpos naturais, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza. Uma abordagem comumente utilizada no levantamento tradicional de solos é intitulada CLORPT. Sugerida primariamente por Dokuchaev (1893), estabelece que o solo é resultado da interação entre o clima, organismos, relevo, material de origem e tempo, sendo este último, mais tarde adicionado como uma variável independente, $S=f(\text{CLORPT})$. Tal modelo constitui um modelo mental, intuitivo, determinístico, assumindo uma forte correlação solo versus ambiente. (NEUMANN, 2012)

O mapeamento tradicional de solos procura subdividir áreas heterogêneas em áreas mais homogêneas, que apresentem menor variabilidade em função dos atributos utilizados na distinção das mesmas. Sendo baseados em observações de campo, de número e intensidade adequada à escala de mapeamento desejada, e às observações efetuadas ao longo de transectos, áreas piloto, topossequências, sistema de malhas ou de caminhamentos livres.

Com essa base científica, o pedólogo se utiliza de experiência e abstração, para interpretar características topográficas, e vegetacionais como auxiliadoras na distinção de propriedades de solos, dentro de limites de classes, embora sem considerar a variabilidade espacial dos fatores genéticos, e do próprio solo, sendo os polígonos de mapeamento representados por limites discretos abruptos entre as unidades de mapeamento, e classificados de acordo com o sistema taxonômico utilizado. O que dificulta a inferência de certos caracteres quantitativos como o pH do solo por exemplo.

De acordo com o reconhecimento da necessidade de conhecimento tácito, advindo de experiências, a partir de processos mentais baseados em abstrações e vivência de campo, o analista se torna a peça chave na tomada de decisão, mesmo sem elucidar todo o mecanismo que levou à inferência desta ou daquela unidade de mapeamento de solos (NEUMANN, 2012).

Uma abordagem digital tem o objetivo de propor uma modelagem quantitativa dos solos, a fim de classificar, descrever e definir os padrões de variação espacial dos solos, melhorando o conhecimento da variabilidade deste recurso no terreno, dispondo esse tipo de dados para análises digitais e melhorando a visualização e o acesso aos mesmos. Esta nova abordagem atende à demanda crescente por

informações acessíveis, e auxilia no desenvolvimento de novas áreas de interesse como qualidade e conservação do solo, e do ambiente, proporcionando um melhor estudo dos processos de degradação.

Desde os anos 60, de uma idéia que surge no congresso mundial de ciência do solos, foi fixada a meta de elaborar um mapa global de solos, a despeito das dificuldades de aquisição de dados por fatores geopolíticos, o mapa foi concluído após 25 anos, e a partir disso, outro mapa está sendo elaborado em meio digital com a finalidade de integrar o acesso aos dados de solos entre disciplinas como hidrologia, climatologia, economia, e outras, que necessitam deste tipo de dado padronizado, que tem a capacidade de atualização pronta e contínua, o que evidencia a importância do levantamento de solos, em uma escala detalhada e quantitativa para o entendimento do comportamento dos ecossistemas. Sendo assim, as perspectivas do mapeamento de solos são demonstradas quando a preocupação com suas propriedades se torna um parâmetro decisivo e de difícil obtenção a partir dos levantamentos tradicionais (FISCHER, 2012).

A metodologia utilizada no mapeamento de solos, que define polígonos de classes de solos, muitas vezes com o auxílio de imagens ou fotografias aéreas, além de técnicas como estereoscopia, não considera o comportamento de mistura gradual entre as classes de solos. No mapeamento digital, o terreno é tratado em unidades discretas de um tamanho de célula definido, e cada célula porta determinadas características que podem ser preditas, ou inferidas com um determinado grau de incerteza, embora seja necessário aprimorar a relevância deste grau de acerto dos mapas digitais. Sendo assim o mapeamento digital não se limita apenas a digitalizar os mapas existentes, e delimitar informações dentro de limites de polígonos, mas sim transformar estes dados Conforme a necessidade de disponibilizar dados quantitativos a respeito de solos, para o auxílio a outras áreas do conhecimento e para a tomada de decisão (FISCHER, 2012).

O Mapeamento digital de solos necessita de desenvolvimento real quanto a técnicas, e plataformas de análise O conceito proposto por Lagacherie, et al. (2006) explora a definição de pedometria como o estudo quantitativo da variação do solo, e mapeamento digital como o estabelecimento de sistemas de informação espacial de solos através de modelos numéricos com o objetivo de inferir as variações espaço-temporais de classes e propriedades de solos

Deste modo, com vistas à melhor valorização da ciência do solo, e para o direcionamento dos levantamentos pedológicos a uma renovação em termos de critérios taxonômicos, aporte de recursos para pesquisa, e poder de ação para aproveitar as potencialidades do recurso em questão, é necessário alinhar a formação do pedólogo com a utilização correta das ferramentas disponíveis, técnicas de coleta e processamento de dados, e à formação e desenvolvimento de modelos de solos para o mapeamento digital.

O mapeamento digital de solos pode melhorar o processo de produção das informações que são utilizadas para treinar os modelos, e prever classes e propriedades de solos em áreas não mapeadas, ou em escalas detalhadas, permitindo ainda que grandes extensões sejam previamente mapeadas, o que pode otimizar o uso dos recursos humanos e financeiros no mapeamento convencional (CATEN, 2012).

2.2 Solos *versus* ocupação humana no Cerrado

Com o advento das políticas de ordenamento do território no Pós Segunda Guerra Mundial, foi percebida a existência de desigualdades estruturais na relação dos espaços no sistema capitalista. No século XX, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) elaborou a teoria do Sistema Centro-Periferia, sustentando que a defasagem da América Latina decorria das relações desiguais impostas pela divisão internacional do trabalho, sendo os ganhos do progresso técnico retidos no centro do sistema através exportação de bens industrializados, deste modo, a periferia da economia mundial produziria alimentos e matérias primas para atender às necessidades dos grandes centros industriais. Com o conhecimento dessa situação, o Brasil viu-se impelido a fomentar estratégias de desenvolvimento que extrapolassem este modelo (RODRIGUEZ, 1993).

A ocupação humana no Brasil se desenvolveu no litoral, onde as cidades se estabelecem como um centro tributário gradualmente expandido para o interior do país. Estes sistemas urbanos, em conjunto com uma dispersa população rural, formavam regiões econômicas sem vínculos entre si, constituindo a denominada economia de arquipélago. A formação de uma verdadeira rede urbana nacional se deu

após a industrialização e a formação de mercados nacionais, processos que obtiveram maior destaque em meados do século XX. No interior do país a criação de centros urbanos se deu graças à evolução dos eixos de transportes, e à construção de Brasília. A distribuição da população ao longo destes eixos viários é destacada devido aos programas de colonização do interior implementados na década de setenta, modificando o modelo histórico de ocupação antes situado ao longo dos eixos fluviais. (QUEIROZ, 2007)

Ainda neste período, os estados do Sul estavam em estágio avançado de ocupação, e como consequência, houve desmatamento generalizado. Ainda na metade do séc. XX, outras áreas foram objetos de colonização oficial e particular, dando destaque às colônias do Vale do Rio Doce (SP), do Mato Grosso, de Goiás, e Mato Grosso do Sul. Na década de 60, a construção de uma nova capital deu-se num curto espaço de tempo, com a criação de Brasília impulsionando a ocupação do Brasil Central (AMBIENTE BRASIL, 2013).

Nesse sentido, ocorreram mudanças no traçado da malha rodoviária nacional, destacando a implantação das rodovias em direção às capitais estaduais e às regiões de fronteiras, o que permitiu a incorporação de novas áreas à economia nacional, acelerando o ritmo do processo de desenvolvimento econômico no interior do País. A partir daí, o Estado passou a desempenhar um importante papel na ocupação do território, apoiado por incentivos fiscais, visando investimentos privados em novas áreas. Essa preocupação do governo com o desenvolvimento das regiões periféricas e a tentativa de viabilização para exploração dos recursos naturais e das potencialidades produtivas dessas áreas beneficiaram mais as grandes empresas do que as populações presentes (AMBIENTE BRASIL, 2013).

A consolidação da capital foi estratégia de integração do território e sinalizadora da articulação com a economia internacional capitalista durante o regime militar, as vias de acesso no estado de Goiás, e o grande volume migratório promoveram significativas mudanças intra-regionais (QUEIROZ, 2007)

A valorização das terras do Cerrado ocorreu em função de dois aspectos: a proximidade dos grandes centros urbanos do País, a malha viária em desenvolvimento principalmente a e a topografia plana que facilitava a mecanização de atividades agrárias. Esses aspectos favoráveis ao desenvolvimento dessas terras vieram ao encontro da necessidade de expansão da agricultura gerada pelo modelo

de país que privilegiava a produção agrícola exportável questão que deve ser considerada na percepção da necessidade de se elaborar levantamentos mais expeditos e detalhados.

Em Santa Catarina, predominou a colonização particular, promovida pelo capital comercial europeu, em direção ao planalto, onde encontrou, no fim da década de 30, a frente de expansão do Rio Grande do Sul. Avançou até alcançar, na década de 40, as terras do oeste do Paraná. Neste Estado, este tipo de colonização expandiu-se até o norte e juntou-se à frente de expansão paulista. No fim da década de 40, não existiam mais terras “livres” no Rio Grande do Sul e praticamente todas as terras de matas haviam sido destruídas, restando apenas reservas ao longo do Rio Uruguai. (AMBIENTE BRASIL, 2013).

A década de 70 caracterizou-se pela ocupação das terras das Florestas da Amazônia e pela valorização das terras de Cerrado do Centro-Oeste, com a tecnificação da produção, e a descoberta de práticas viabilizadoras do cultivo nos solos ácidos e alumino-ferrosos do Cerrado. Contexto que até os dias de hoje é experimentado, embora o processo de exploração das terras esteja num estágio avançado, o que caracteriza a formação de uma nova frente de expansão agrícola em direção ao norte do país.

Tanto sob a ótica agrícola, quanto sob a ótica pedomorfogenética, os substratos de composição dos solos do Cerrado possuem características com grande variabilidade, embora sejam predominantes as formações lateríticas, com um elevado grau de intemperismo, proporcionando áreas de relevo plano permeadas por abundantes veios hídricos aflorantes ou subterrâneos, o que favorece a atividade agrícola e gera a necessidade de uma gestão mais atenciosa do recurso solo.

2.3 O Uso do Solo e Sustentabilidade

Segundo Bryant e Bailey (1997), as comunidades dependentes dos recursos naturais como fator de sobrevivência como as comunidades agroextrativistas, agricultores familiares, populações indígenas, e comunidades locais ou tradicionais são afetadas em suas atividades fundamentais por fatores econômicos atrelados à fatores políticos. Para essas comunidades a sobrevivência está associada a um

sofisticado entendimento a respeito da localização de potenciais recursos do ambiente e das maneiras pelas quais os processos ecológicos locais operam. Os autores levantam a questão socioambiental utilizando-se da expressão “grassroots actors” que remete aos estratos de base da população, camadas sociais tradicionais, geralmente mais delicadas, dependentes dos recursos naturais de uma forma direta para a subsistência.

Tal questão tem sido refletida no desenvolvimento de arranjos institucionais locais para regular o uso individual ou coletivo dos recursos naturais. Nesse sentido políticas públicas vêm sendo adotadas para tentar conter a exploração desordenada dos recursos do ambiente, denotando o dispêndio de atenção a essas comunidades, para as quais o gerenciamento da produção significa gerenciamento do meio ambiente. (Bryant e Bailey, 1997). Podem ser citados como exemplo desse contexto o caso do incentivo da Companhia Nacional de Abastecimento -CONAB para o estabelecimento de Arranjos Produtivos Locais APL's e de uma cadeia consolidada de produtos advindos da sociobiodiversidade o que têm se mostrado iniciativas sinalizadoras da proeminência da questão socioambiental na condução de parte das políticas públicas (OFICINA: CADEIA DE PRODUTOS DA SOCIOBIODIVERSIDADE, 2012).

. O histórico colonizatório por que passaram as comunidades de base nos países em desenvolvimento, as nuances pré-republicanas, e a crescente economia predatória, que modulara as relações dessas populações como o ambiente, foram responsáveis por impulsionar o desequilíbrio da comunidade com seu meio. Embora sejam percebidos exemplos de comunidades com uma consciência de preservação para exploração sustentável do habitat

Neste contexto, os países Latino-Americanos com uma grande quantidade de recursos naturais, com elevado valor econômico e ambiental, situados em grandes extensões territoriais com diversos modelos de ocupação humana que vão desde grandes aglomerados urbanos a populações tradicionais que sofrem pressão dos impactos da utilização econômica irregular dos recursos naturais, surgem como foco das preocupações socioambientais diante da comunidade global (BRYANT e BAILEY, 1997).

O Brasil, atual expoente econômico no continente, ainda não atingiu um grau de desenvolvimento que permita gerir a utilização dos recursos naturais tanto em

termos de quantificação/valoração, quanto em termos de conservação/uso sustentável, devido a diversos fatores como pressões político-econômicas, ou a falta de incentivo real à construção de uma consciência ambiental. Sendo assim, vêm sendo necessárias estratégias de gestão que possam abranger adequadamente a extensão das necessidades humanas reais. Deste modo, as ferramentas de gestão vêm sendo cada vez mais aprimoradas em um âmbito técnico-jurídico de forma a garantir a correta utilização do recurso natural;

A gestão da exploração do solo integrada e sustentável se torna uma vantagem estratégica frente aos desafios competitivos em nível internacional. Como forma de suprir essa necessidade, as geotecnologias podem servir de subsídio para a exploração sustentável dos recursos naturais, tal exploração visa à conservação integrada, que consiste na exploração consciente do meio natural, o que requer um planejamento composto por estudos pontuais direcionados para as variáveis que se pretende trazer ao conhecimento.

Para o melhor entendimento das relações que formam a interação do homem com o meio, as técnicas de modelagem ambiental, que são utilizadas como ferramentas para gestão inteligente do território.

Polidoro e Barros (2010) utilizaram a abordagem por Condicionantes Deficiências e Potencialidades (CDPs) como ferramenta auxiliar na gestão de políticas públicas municipais. Esta abordagem que considera as características do município em termos de recursos e limitações utilizou dados de geoprocessamento que possibilitaram uma melhor compreensão por parte dos planejadores municipais para o desenvolvimento e aplicação dos planos municipais ou estaduais como Planos Diretores, e Planos de Gerenciamento Resíduos Sólidos, que são indispensáveis tanto para a correta gestão do município, quanto para acessar recursos federais.

Programas de planejamento visando à exploração econômica racional tornam-se cada vez mais necessários, uma vez que a busca de um melhor aproveitamento econômico passa a ser fator crucial para o desenvolvimento, seja ele local, regional, nacional ou internacional. Destaca-se que o geoprocessamento é caracterizado pela utilização de técnicas matemáticas e computacionais, direcionadas ao tratamento de informações coletadas sobre objetos ou fenômenos geográficos identificados (CASTANHO et al., 2004).

Sendo assim, a abordagem proposta neste estudo pode enquadrar-se neste contexto visto que a espacialização de classes de solos utilizando técnicas computacionais é uma prática com alto potencial para atuar como auxílio na elaboração e execução de planos de desenvolvimento nacionais ou regionais, contribuindo para o estudo mais direcionado das nuances ambientais as quais uma área está submetida.

Essa abordagem digital de delimitação de feições ambientais também é responsável pela realização de análises de campo mais expeditas e direcionadas de acordo com as feições analisadas. É uma tecnologia que se mostra importante como foco de inovação tecnológica nas estratégias de planejamento ambiental. E como facilitador para entender os atributos do terreno de uma dada região.

CAPÍTULO 3 - COBERTURA VEGETAL E ÍNDICES TOPOGRÁFICOS COMO SUBSÍDIO PARA O MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS, NO DISTRITO FEDERAL.

3.1 Resumo

No emergente campo da análise ambiental quantitativa, o estudo sobre as técnicas digitais como ferramentas na produção de mapas de solos de maneira mais acurada, rápida e barata tem sido desenvolvidas. Dentre estas, a técnica de integrar variáveis ambientais em dados geográficos digitais, gerando mapas pedométricos preditos é tida como um importante avanço no estudo quantitativo do solo diminuindo o fator de acurácia do analista e gerando formas de melhorar e auxiliar nos mapeamentos de solos. Assim, seguindo esta tendência, o presente trabalho utilizou imagens LANSAT 5 TM e dados vetoriais da Bacia do Rio Jardim para gerar Modelos Digitais de Elevação, Índices de Vegetação, e variáveis derivadas do terreno para auxiliar na elaboração de mapas digitais de solos da Bacia. O índice topográfico de Umidade (TWI), e o Índice Perpendicular de Vegetação (PVI) mostraram-se capazes, quando submetidos à classificação em *cluster* e tabulação cruzada usando os parâmetros mapa de solos pré-existentes como uma boa ferramenta na distinção delimites de classes de solos. Os resultados provenientes do índice de vegetação resultaram em uma distinção melhor para solos hidromórficos, e o índice topográfico de umidade foi eficiente para diferenciar as classes dos Cambissolos e dos Latossolos. Concluiu-se que tais técnicas foram úteis na distinção de classes de solos, podendo ser utilizados na elaboração de mapas digitais de solos..

Palavras-chave: Índice Topográfico de Umidade, Índice Perpendicular de Vegetação, Mapeamento digital de solos, solos hidromórficos, latossolos, cambissolos.

3.2 Abstract

At the emerging field of quantified environmental analysis, the study about digital techniques as a tool to make more accurate, fast and cheap soil maps have been developed. The technique to integrate environmental variables into digital geographic data, generating pedometry predicted maps is an important forward at the study of soil in a quantitative way, decreasing the analyst accuracy factor, and generating forms to improve and help the soil mapping. Thus, converging this tendency, the present work used LANDSAT 5 TM images and vectorial data from the Rio Jardim watershed to generate Digital Elevation Model, Vegetation Index, and surface derivated attributes, helping to generate digital soil maps. The Topographic Wetness Index (TWI), and the Perpendicular Vegetation Index (PVI), showed to be able, when submitted at cluster classification, and cross tabulation using the pre existent soil map parameters, as a good tool in the evidenced distinction of three soils classes boundaries. The used vegetation index results in a better distinction for hidromorphic soils, and the topographic index was good to discretize two others soil classes. Was concluded that these techniques was able to make the distinction of soil classes. And these data can be used at the confection of digital soil maps..

Key words: TopographicWetness Index, Perpendicular Vegetation Index, Digital Soil Mapping, geographicinformation systems, geoprocessing.

3.3 Introdução

O estudo das relações vegetação *versus* solo por meio de ferramentas de análise digital de imagens é um passo importante em direção ao desenvolvimento de uma ciência do solo mais integrada com as ferramentas digitais disponíveis. Para subsidiar futuros estudos no campo da pedometria digital, este trabalho visa analisar o comportamento dos Índices topográficos e de vegetação para estimar a distribuição espacial das classes de solos na Bacia do Rio jardim utilizando-se do Índice de vegetação perpendicular, e do índice topográfico de umidade em concomitância com o dado mapeado para os solos da área de estudo.

Segundo Richards e Jia (2006), as radiações provenientes de alvos na Terra são captadas por sensores digitais montados em plataformas (aéreas ou aeroespaciais). Quando a energia captada é advinda da luz solar refletida pela superfície (no espectro de ondas da faixa da luz visível), pode-se ver uma imagem idêntica à que o olho humano percebe, mas usualmente no sensoriamento remoto, trabalha-se com a captação de radiações eletromagnéticas que não são perceptíveis ao olho humano, observando que cada material constituinte da terra absorve um determinado intervalo espectral e reflete outro.

A energia detectada pode também ser refletida do alvo por resultado da ação de uma fonte de energia artificial como um laser ou um radar. Os dados coletados pelos sensores são armazenados digitalmente como imagens, e essas imagens são compostas de elementos pictóricos discretos: chamados *pixels*. Cada *pixel* possui um conjunto de dados numéricos relacionados, sendo sua localização dada por X, Y definindo a área mapeada da Terra correspondente ao tamanho do *pixel*. Essa definição também é chamada de resolução espacial (RICHARDS e JIA, 2005). Ainda por um atributo numérico Z, que se refere aos níveis de cinza de cada célula, o chamado *Digital Number – DN*, ou ainda, resolução radiométrica. Esses níveis de cinza DN são captados pelos sensores de acordo com a leitura das peculiaridades de reflectância ou emissividade de cada material em relação à banda espectral ou o canal mapeado (TEIXEIRA, 2008)

. O Índice de vegetação perpendicular (PVI) -como um índice ajustado ao solo, é calculado, segundo proposto por Perry, C.R. Jr. & Lautenschlager, L.F. (1984)e

ressalta a separabilidade entre solo e a vegetação segundo o comportamento da reflectância desta em relação ao conteúdo de umidade no solo:

Equação 1– PVI

$$PVI = \left[\left(\frac{1}{\sqrt{a+1}} \right)^2 (\rho_{iv} - a\rho_v - b) \right]$$

Na Equação 1: ρ_{iv} é a reflectância no infravermelho próximo (760 e 900nm); e ρ_v é a reflectância no visível (630 e 690nm) compatível com a cor vermelha; e “a” e “b” são os coeficientes ajustados para a linha do solo (ALMEIDA E FONTANA, 2009).

Outro índice que realça o teor de saturação por água no solo é o *Topographic Wetness Index TWI* - o índice topográfico de umidade, buscando estimar o teor de umidade real do solo que é expresso genericamente pela equação 2:

Equação 2– TWI

$$TWI = \ln \left(\frac{\alpha_i}{\tan \beta_i} \right)$$

Na Equação 2: “ $\tan \beta_i$ ” é a declividade na superfície no ponto “i”, e “ α_i ” é a área de acumulação no ponto “i” (RENNÓ e SOARES, 2003).

. LIN et al. (2006) observaram que o índice varia entre 4 e 5 para solos bem drenados; em solos moderadamente drenados ele varia entre 5 e 7; e em solos mal drenados, os índices oscilam entre 7 e 12. Essas condições de umidade também estão associadas à espessura, estrutura e à permeabilidade dos solos. Os valores elevados de TWI estão associados a relevo plano e áreas de várzea, onde são encontrados Organossolos e Gleissolos, ou áreas, favorecedoras de acúmulo de água.

Ao analisar estes estudos, é possível concluir que a vegetação, intimamente relacionada com o solo em todos os aspectos, possui diferenças substanciais em suas curvas de reflectância devido aos seguintes fatores de solo: teor de água que é fator relacionado à composição mineralógica e material de origem do solo e pode ser determinante para sua identificação, influenciando no fator de reflectância da vegetação; e disponibilidade de nutrientes que pode ser resultado de variações de declividade,

altimetria e deposição de matéria orgânica nas camadas superficiais, fatores determinantes para identificação de fitofisionomias e inferência de classes de solos.

As características possíveis de reação podem ser categorizadas e os *pixels* pertencentes a categorias similares são, portanto, agrupados para delinear feições e limites entre as classes de categorização. Esse processo de classificação pode ser realizado por programas específicos de análise digital de imagens.

3.4 Materiais e Métodos

A Bacia Hidrográfica do Rio Jardim se localiza na porção sudeste do Distrito Federal (**Figura 1**), compondo parte da área de contribuição da Bacia do Rio Preto (REATTO et al., 2000) e é caracterizada por uma exploração agrícola intensiva com um difundido uso de irrigação.

As imagens utilizadas no estudo foram LANDSAT 5 TM adquiridas a partir da página do INPE -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, sendo selecionada a cena que apresentava melhores condições de visualização e ausência de nuvens. Também foi considerada a data da imagem como fator de escolha. Sendo assim, a imagem solicitada foi datada a 10 de Setembro de 2011. Os dados da Bacia do Rio Jardim são constituídos de dados vetoriais como o limite da bacia, hidrografia, curvas de nível e pontos cotados, divididos em regiões (Alto, Médio e Baixo Jardim). Tais dados foram disponibilizados pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, em escala 1:10.000.

Para a escolha do dado de satélite utilizado no estudo, foi considerado que a evolução dos sensores orbitais a bordo de plataformas espaciais proporcionou uma maior facilidade de acesso aos dados, contexto este que possibilitou serem disponibilizadas gratuitamente, pelo site do INPE, imagens de sensores multi-espectrais advindas de variadas fontes, deste modo foi possível a escolha das imagens do LANDSAT 5, como uma fonte de dados confiável e de fácil acesso.

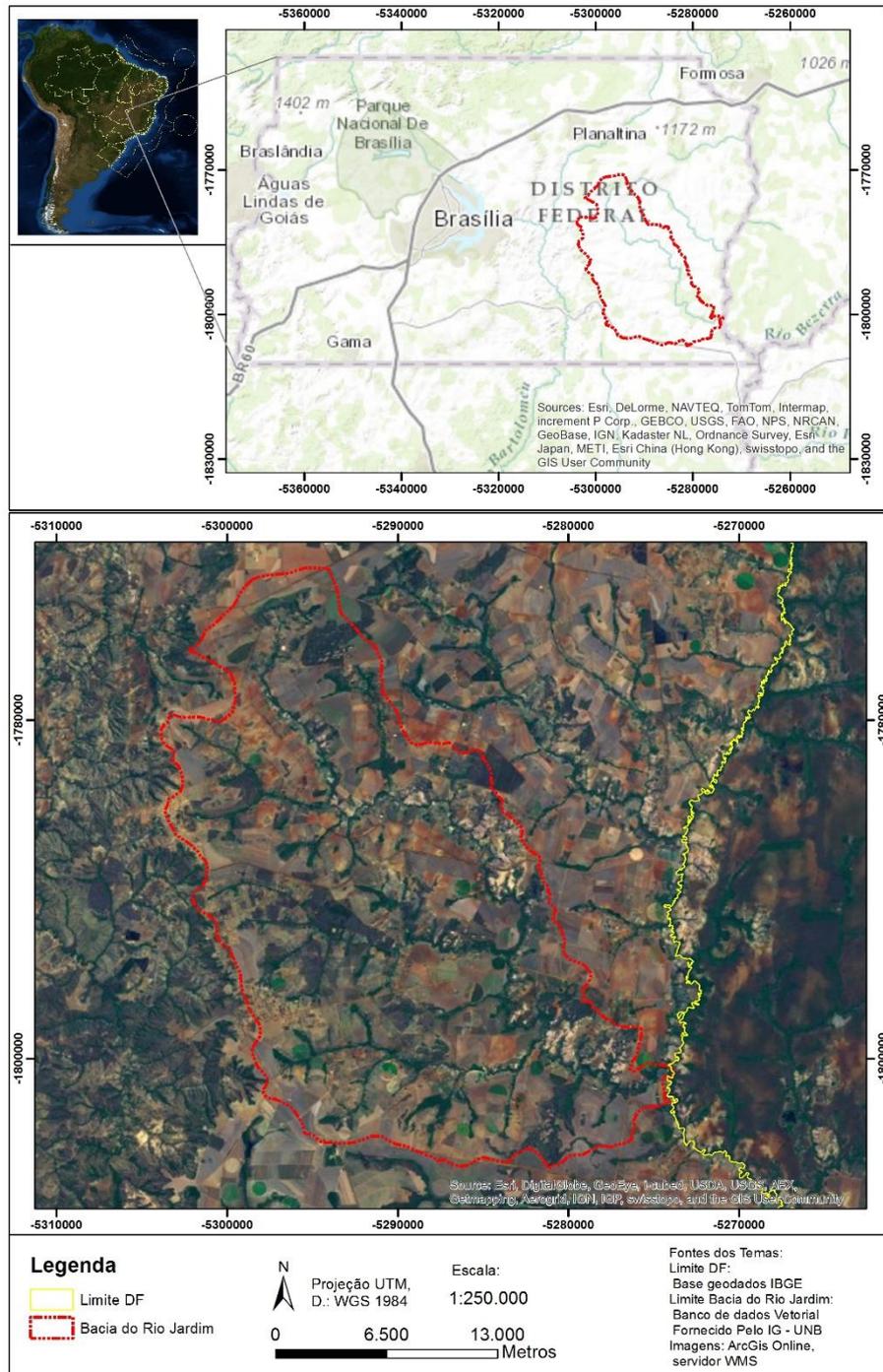


Figura 1 – Localização da área de estudo

Foram utilizados os *softwares* ArcGis 10.0 da ESRI, e o *software* gratuito, de código aberto *System for Automated Geoscientific Analysis* -SAGA-GIS 2.1.0 para o processamento dos dados, as ferramentas utilizadas foram as disponíveis nos módulos dos respectivos *softwares*, segundo o fluxograma (**Figura 2**).

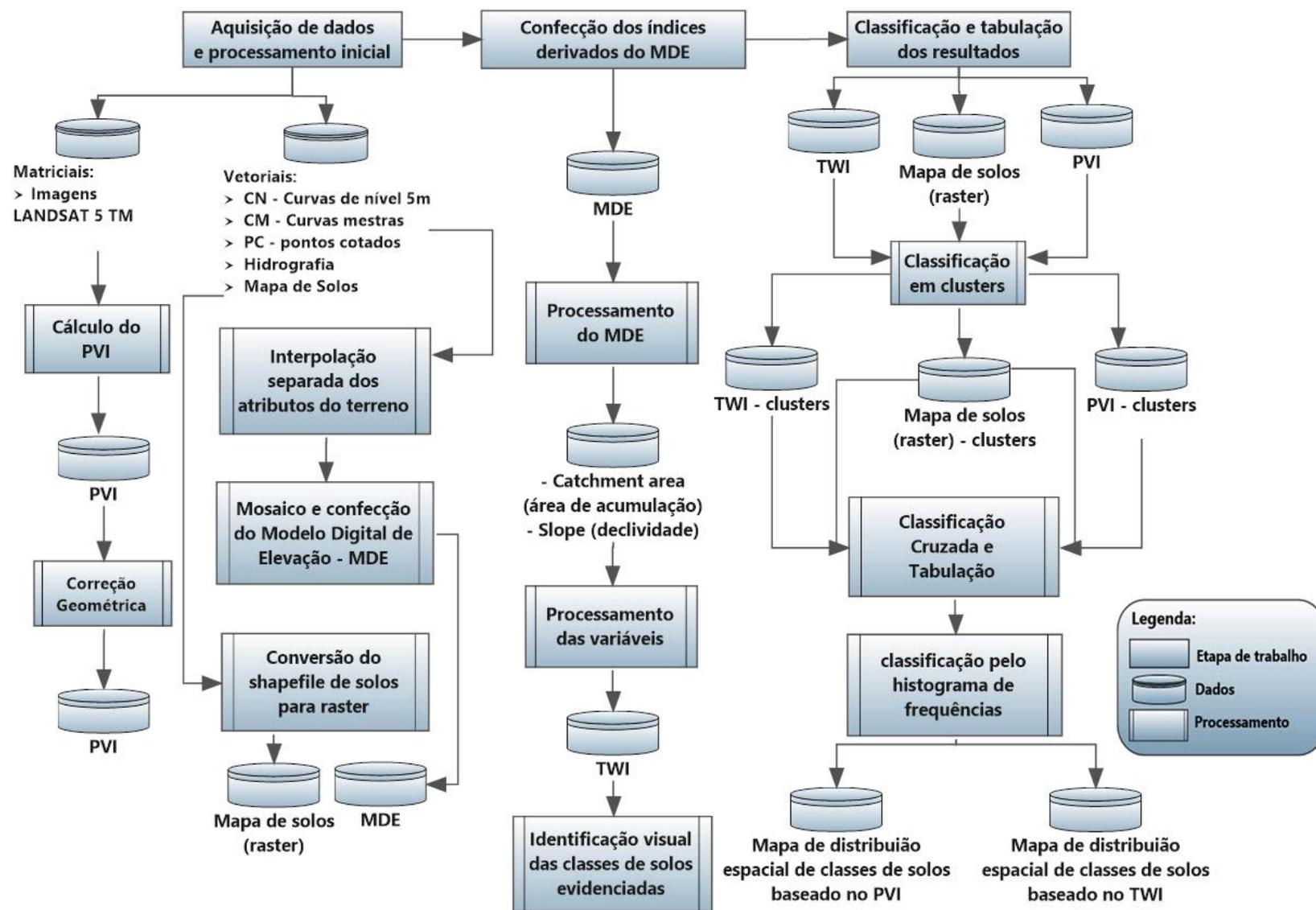


Figura 2 - Fluxograma da confecção dos dados

Os dados vetoriais com atributos de terreno compostos por pontos cotados, curvas de nível, e hidrografia foram utilizados na geração do Modelo Digital de Elevação por meio da ferramenta “Topo toRaster” do ArcGIS 10. Estes estavam divididos em 3 partes Alto, Médio e Baixo Jardim. Os MDE’s foram então gerados separadamente para cada região, para preservar a integridade dos dados e melhorar o desempenho do *software*, não causando incongruências nas tabelas de atributos das feições. Depois de gerado o mosaico das imagens, foi realizada a elaboração dos parâmetros de análise do terreno ou índices de representação da paisagem a partir do MDE (PRATES et. al., 2012) por meio do SAGA pelo módulo “*Basic TerrainAnalysis*”. Sendo estes parâmetros base para a confecção do “*TopographicWetness Index*” (TWI) pelo mesmo *software*. Também foi calculado o índice de vegetação (PVI) de Richardson & Wiegand (1977) a partir das imagens LANDSAT 5 TM. Após esse procedimento foi realizada a classificação em *clusters* tanto do TWI quanto do PVI para assim proceder a tabulação cruzada com o mapa de solos elaborado pela EMBRAPA (REATTO et al., 2000), que fora convertido para o formato *raster* e também classificado em *clusters*.

A ferramenta do *software* SAGA utilizada para a análise em *clusters* do TWI e do PVI foi a “Cluster Analysis for Grids” do autor Conrad (2001). Possuindo como referência o trabalho Forgy, (1965). A ferramenta do mesmo *software* utilizada na tabulação cruzada com o mapa de classes de solos da EMBRAPA foi a “*Cross-ClassificationandTabulation*”.

3.5 Resultados e Discussão

Para a análise visual dos dados, a representação que se segue foi elaborada. A representação adotada visa identificar os intervalos de valores correspondentes com limites de classes de solos.

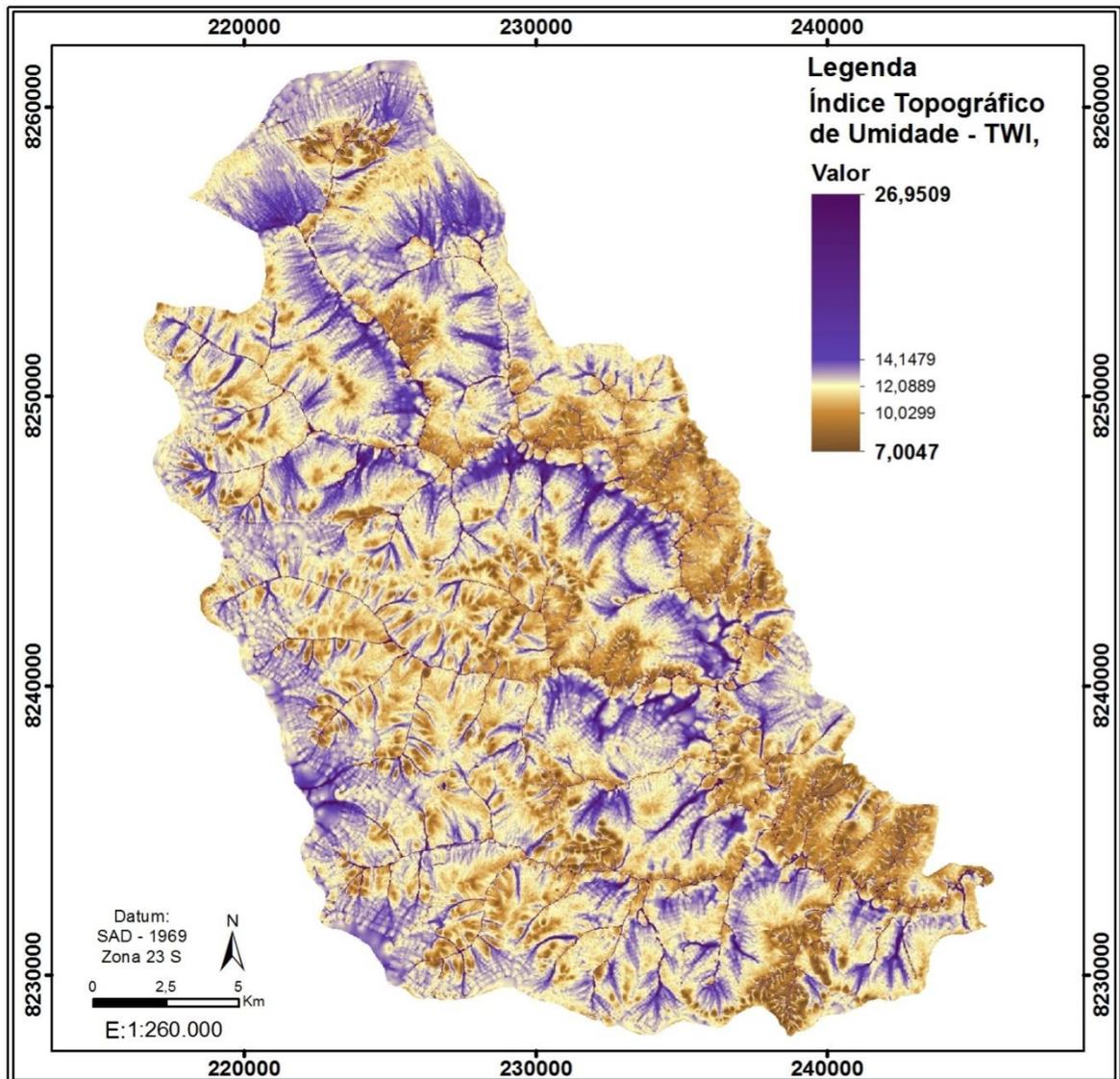


Figura 3 – Índice Topográfico de Umidade - (TWI)

De acordo com o observado no índice topográfico de umidade (**Figura 3**), os valores altos, como descrito por LIN et. al, (2006), correspondem a solos mal drenados. Numa variação dentre os valores de 4 a 12, como utilizado pelos referidos autores, o índice atinge valores altos (próximos de 12) em solos mal drenados, e valores baixos (próximos de 4) em solos bem drenados. (**Figura 5**) de acordo com o intervalo de valores (7 – 26,95) resultante do processamento do índice topográfico de umidade no ArcMap 10.1, observam-se os valores do mínimo (7,00) até valores

próximos a 12,00 apresentando uma coincidência com os limites das classes dos Cambissolos (**Figura 5**), e os valores de 12,00 a 14,00 (**Figura 4**), foram relevantes na diferenciação dos Latossolos.

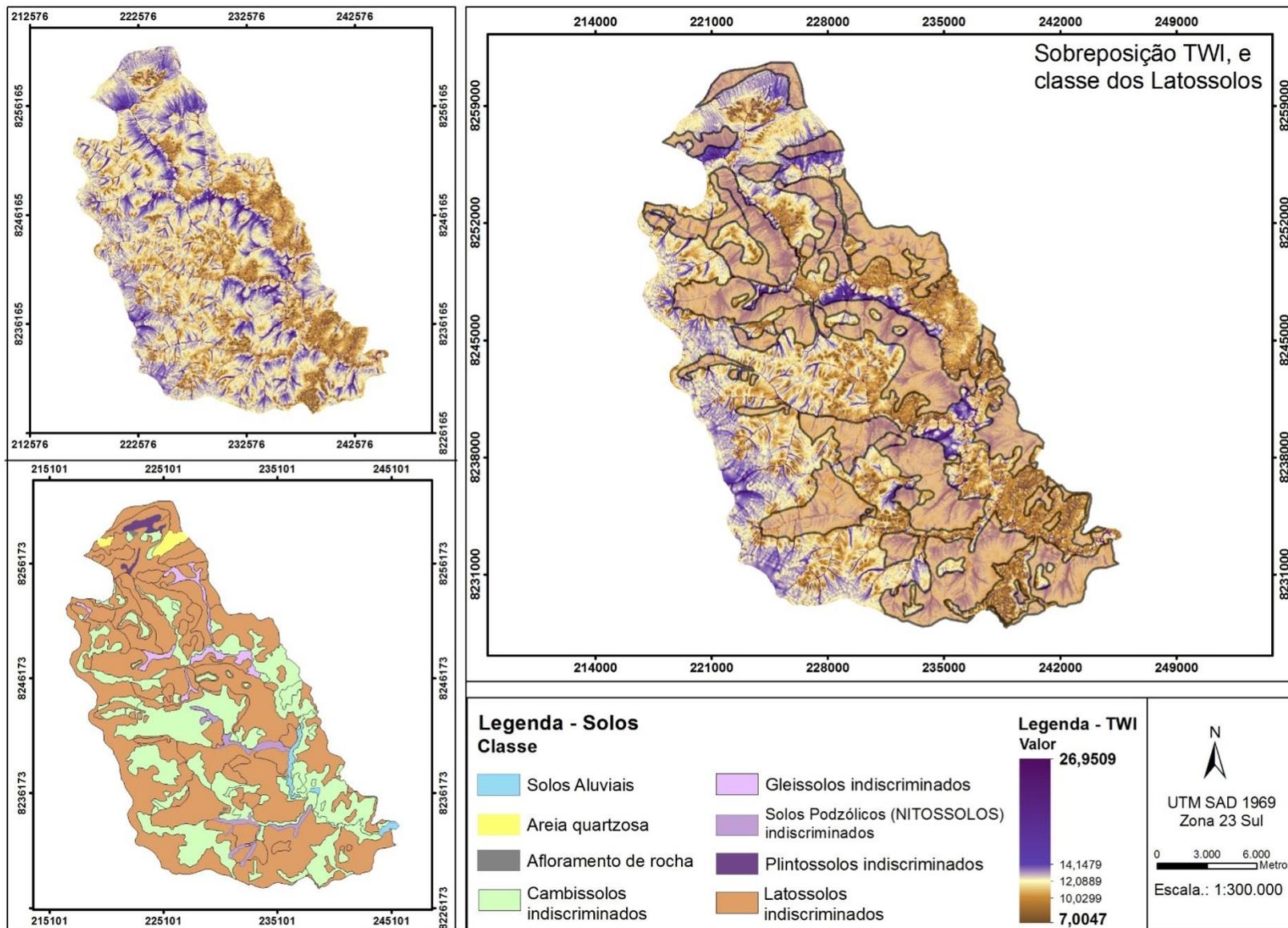


Figura 4 – Sobreposição do TWI com a classe dos Latossolos

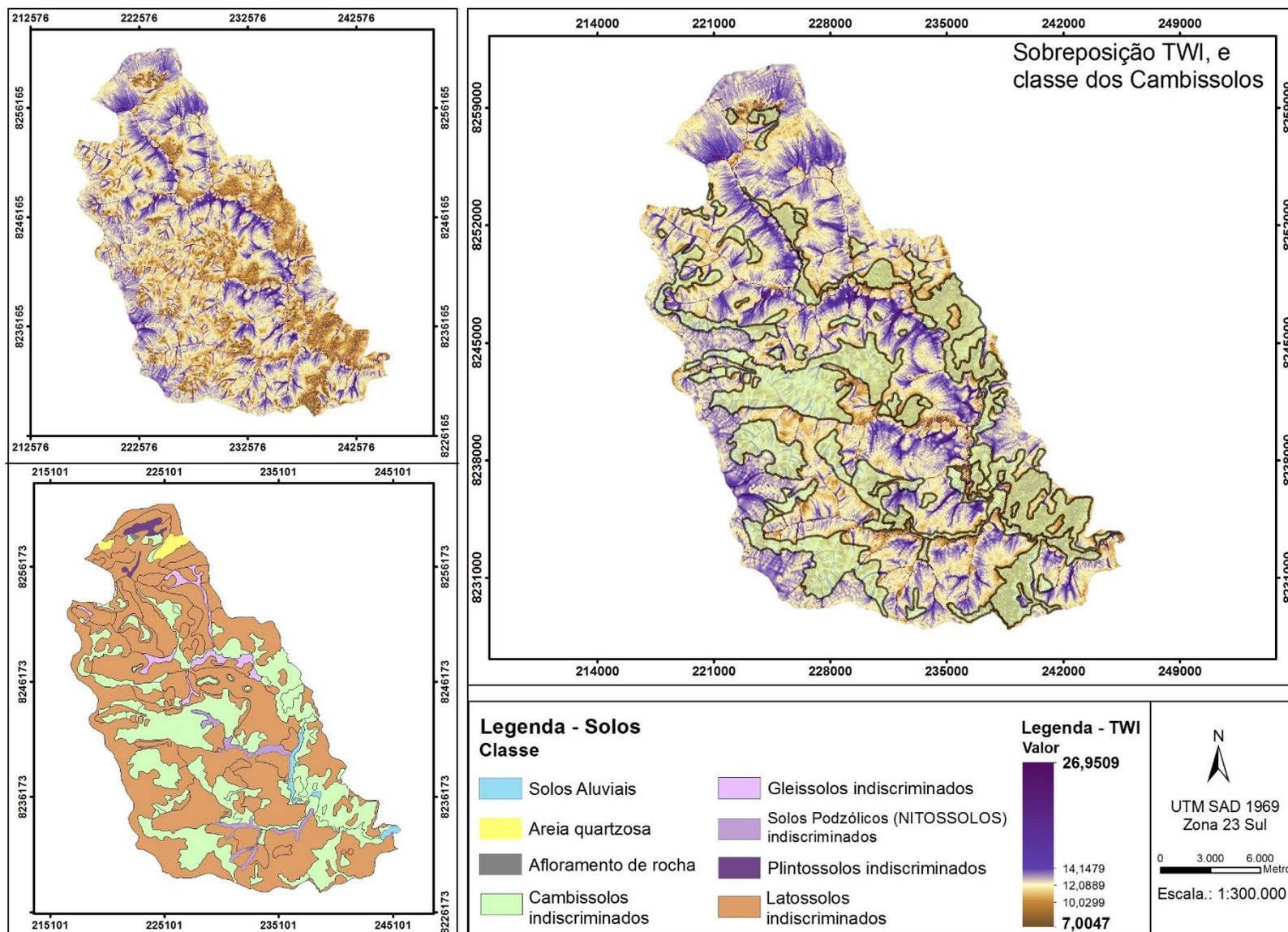


Figura 5 – Sobreposição do TWI com a classe dos Cambissolos

Se a área estivesse em sua condição natural, sem interferência de atividade agrícola, a distinção dos Cambissolos poderia estar relacionada com a ocorrência da fitofisionomia de Campo Sujo, Cerrado Stritu Sensu, Floresta subcaducifolia, ou Campo Úmido como o disposto na topossequência elaborada por COUTO JÚNIOR et al (2010);e pelo levantamento semidetalhado elaborado por (REATTO et al., 2000). Os Cambissolos podem estar ainda associada à fitofisionomia de Cerradão em menor proporção, como disposto por Balbino (2004), a correlação solo e vegetação pode ser de utilidade para ilustrar o efeito do relevo na formação do solo e no estabelecimento da vegetação sobre ele.

Moreno (2008), correlaciona a fitofisionomia de cerradão e Mata Semi-decídua com solos de altitudes mais atenuadas em relação ao contexto do cerrado, tal condição de relevo promove a acumulação natural de nutrientes, e leva a desenvolver estratos vegetativos mais abundantes. Observou-se também que os valores de TWI próximos do máximo (26,9), são correspondentes aos solos com drenagem deficiente como Gleissolos e Nitossolos. Tal análise é correspondente com o descrito por Prates et. al (2012), que também observou a correlação de valores altos do índice topográfico de umidade com solos hidromórficos.

A (**Figura 6**) demonstra o efeito da tabulação cruzada com o mapa de solos a partir da classificação em clusters do índice topográfico de umidade –TWI. Na tabulação cruzada com base na classificação em clusters do TWI foi observada uma correspondência dos limites das classes dos Latossolos indiscriminados como representado na (**Figura 4**) com valores correspondentes às seguintes classes tabuladas e classificadas conforme sua distribuição geométrica no histograma de ocorrências de valores de pixels, o que resultou nos intervalos descritos na (**Tabela 2**) conforme observado na (**Figura 6**).

Tabela 1 – faixas de valores da tabulação e correspondência com classe de solo

Faixa de valores de pixels tabulados	Classe de solo
-9,0 a 50,3	Latosolos indiscriminados
61,02 – 70,39	
70,39 – 88,00	Cambissolos indiscriminados
50,36 – 61,02	

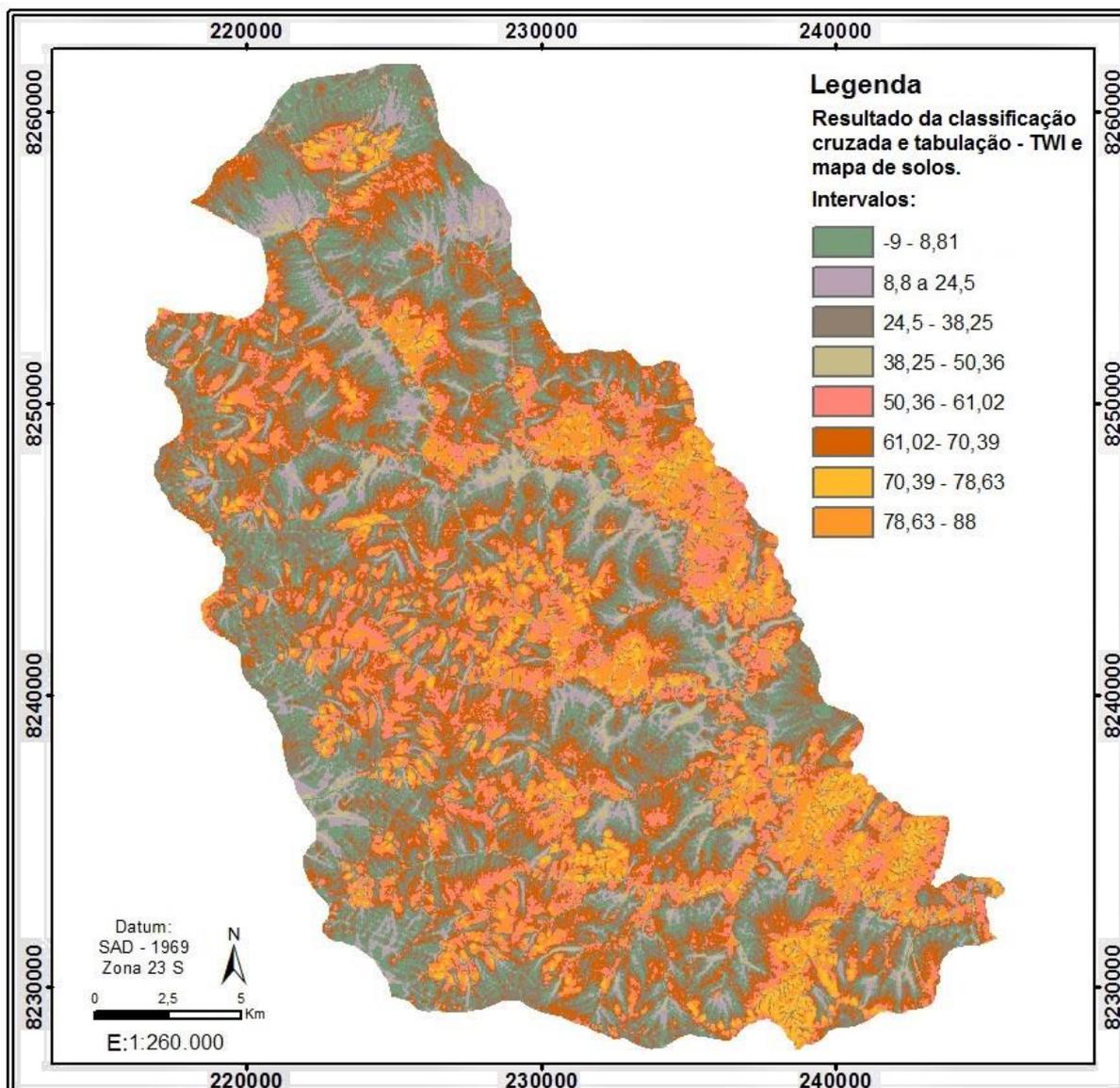


Figura 6 – Resultado da classificação cruzada e tabulação do TWI com o mapa de solos

O efeito da classificação cruzada e tabulação com base no TWI, após a atribuição de cores aos intervalos específicos que possuiriam correlação visual com o mapa de classes de solos, proporcionou o resultado representado na figura acima. Os intervalos são indicados por cores contrastantes, o que torna possível a identificação visual de uma correlação dos intervalos da classificação cruzada com os limites das classes de solos.

Os Latossolos se distribuem por superfícies bem drenadas, de dissecação do terreno menos acentuadas (BALBINO, 2004), o que favorece a atividade agrícola que caracteriza a área. Já os Cambissolos se distribuem por áreas de transição no relevo, que não foram totalmente intemperizadas, se caracterizam por um horizonte superficial pouco profundo, e ocorrem em declividades mais acentuadas.

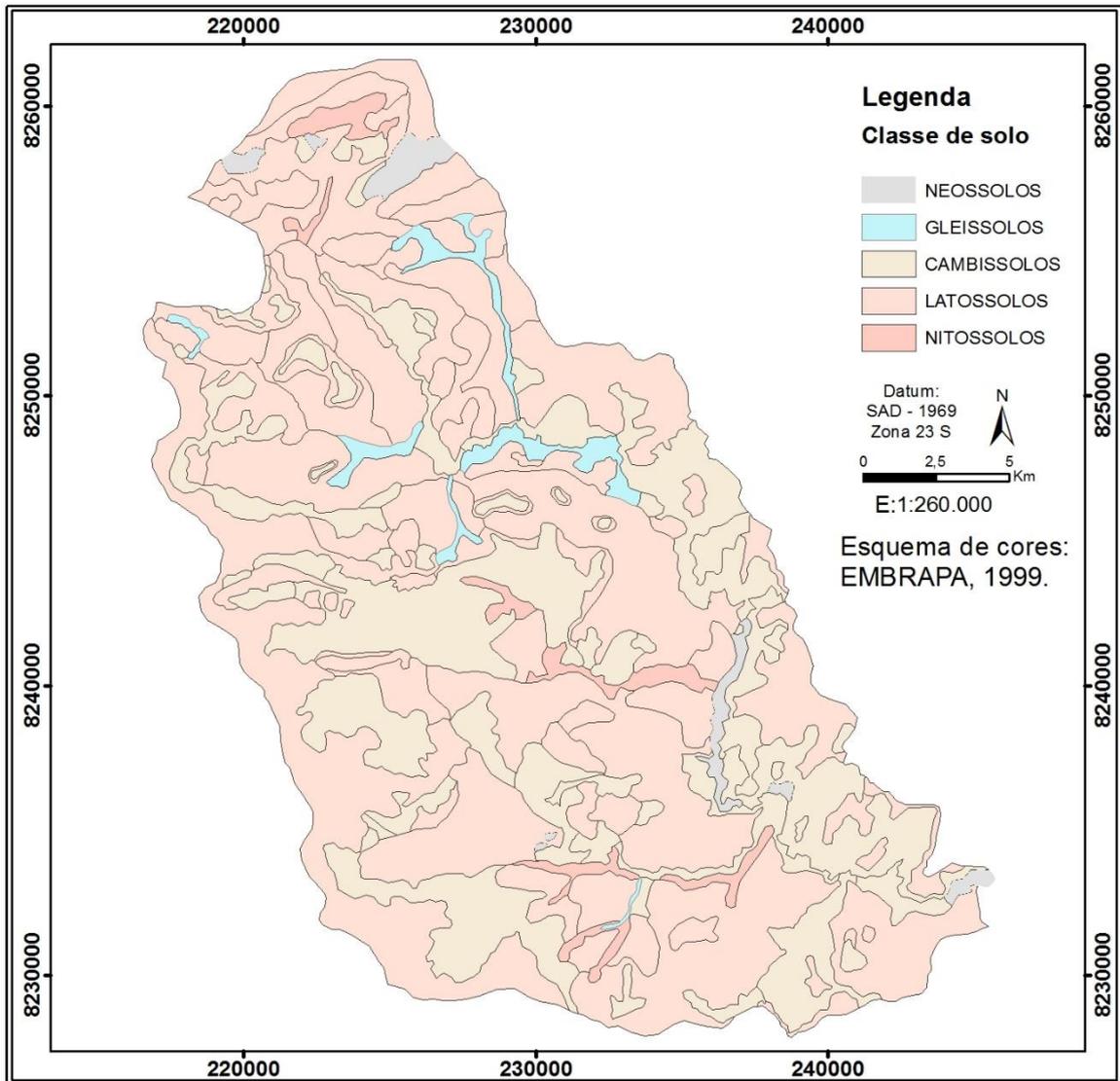


Figura 7 - Representação: Mapa de Solos da EMBRAPA – (REATTO, 2000)

A classificação cruzada e tabulação com base no PVI pôde ressaltar os limites dos solos hidromórficos próximos às linhas de drenagem conforme representado na (**Figura 8**), que evidencia o efeito da relação de acumulação de nutrientes no relevo com a ocorrência de vegetação mais adensada como de matas de galeria e campo úmido, nessa figura, valores a partir de 2600 correspondem a respostas espectrais características desses tipos de vegetação. Que poderiam corresponder a limites de solos hidromórficos.

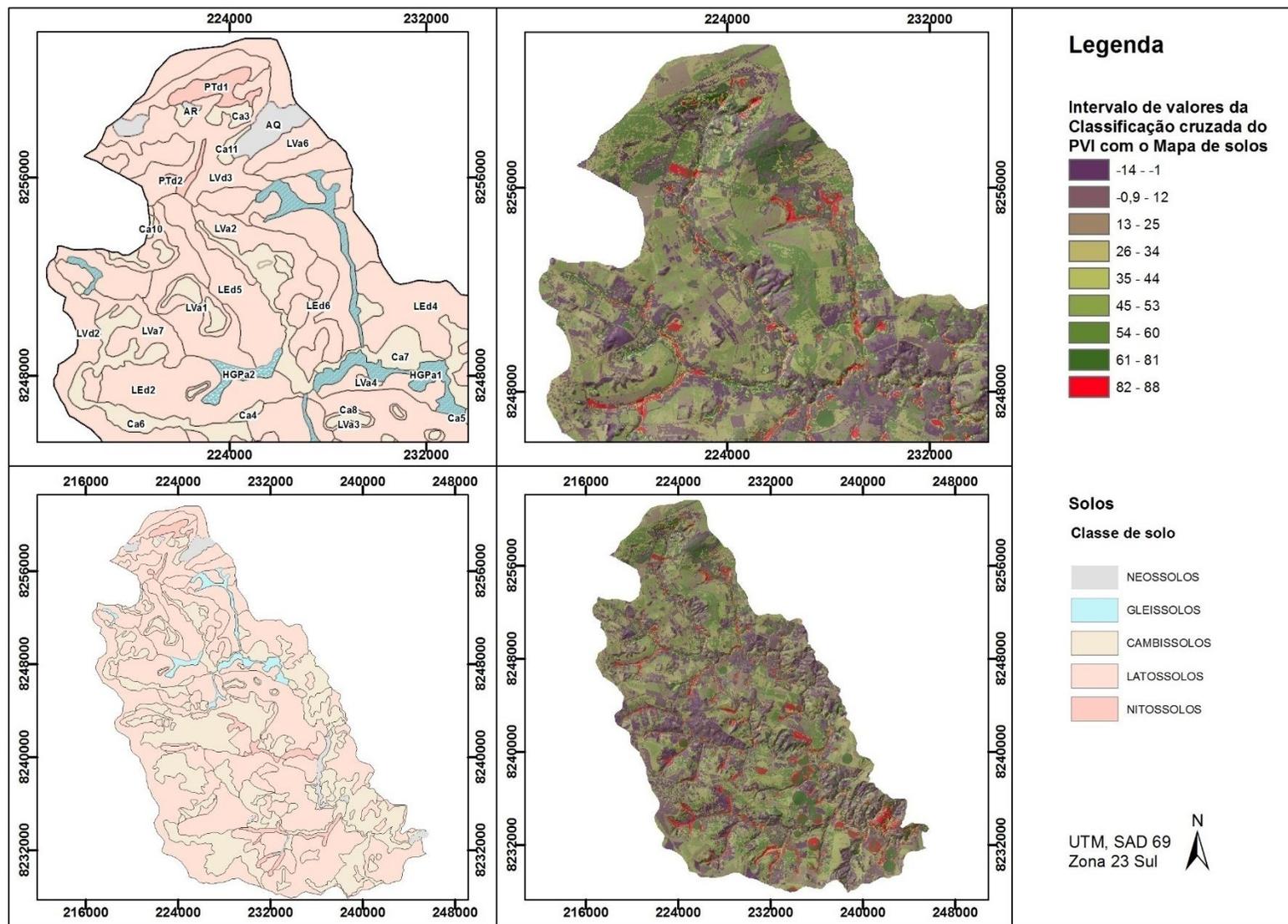


Figura 8 - Mapa de solos evidenciando as classes de solos Hidromórficos em comparação com a classificação resultante do processamento realizado para o PVI

A relação de coincidência deste intervalo de valores do índice de vegetação utilizado pode servir de fator de influência para a identificação de manchas de solos de caráter hidromórfico, embora uma comparação complementar com o TWI seja fator relevante na identificação dos limites das classes de solos com base no mapeamento digital.

3.6 Conclusões

1 - As técnicas de análise digital de terreno e de processamento de imagens e dados vetoriais aqui empregadas com o objetivo de prever quantitativamente caracteres pedométricos, que estão relacionados à diversas variáveis concretamente mensuráveis a partir de técnicas de geoprocessamento, foram satisfatoriamente experimentadas, e encontraram correlações com observações de outros autores.

2 – A classificação em clusters do TWI se mostrou eficiente para encontrar os limites das classes dos Latossolos.

3- O índice que melhor contribuiu para a discretização dos limites das classes de solos foi o TWI, sendo o índice de vegetação resultando em melhor distinção para a descrição de solos hidromórficos.

4 – O estudo aqui apresentado pode servir como subsídio para a produção de mais metodologias na realização de análises pedométricas digitalmente orientadas.

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS HIDROMÓRFICOS, NO DISTRITO FEDERAL

4.1 Resumo

A detecção de solos hidromórficos é uma variável de importância para a tomada de decisão e delimitação de regiões com restrições à ocupação tanto por características de estabilidade do terreno, quanto por serem estas constituídas geralmente de áreas de elevada sensibilidade ambiental. Assim, este estudo objetivou a identificação de áreas de ocorrência destes tipos de solos em uma escala melhor detalhada na região sudeste do Distrito Federal. A Bacia do Rio Jardim, é caracterizada por uma exploração agrícola intensiva e requer uma atenção quanto a ocupação do solo no local. Deste modo, utilizaram-se índices de representação da paisagem baseados no Modelo Digital de elevação com o intuito de delimitar feições de solos hidromórficos para subsidiar os estudos da utilização destes índices na composição de modelos de distribuição espacial de solos.

Palavras chave: Solos hidromórficos, Mapeamento digital de solos, Índice Topográfico de umidade, Área de acumulação, Distância vertical para as linhas do canal.

4.2 Abstract

The hydromorphic soils detection is an important variable for the decision making and delimitation of areas with restricted occupation given by terrain instability, or to being constituted generally by areas of high environmental sensibility, thus this study aimed the identification of areas of occurrence of these soil types in a detailed scale, at the southeast region of the Federal District. The "Rio Jardim" basin, is characterized by an intensive agricultural exploration, and requires an attention for the soil occupation at the local. Thus, DEM based landscape representative indexes was used, with the goal to define hydromorphic soil features, to subsidize studies of the using of these indexes at the composition of spatial soil distribution model.

Key words: *hydromorphic soils. Digital soil mapping. Topographic wetness index. Catchment area. Vertical distance to Channel network.*

4.3 Introdução

Para o mapeamento digital de solos estão sendo testadas variadas técnicas que auxiliam na predição dos caracteres pedométricos, ou de classes de solos. Os modelos testados são avaliados de acordo com a concordância com o mapa de solos existente. Esta abordagem parte do princípio de comparação dos mapas digitais com os mapas de solos preditos por técnicas computacionais (CATEN et al., 2009). Para a delimitação de determinados caracteres do solo, a utilização de variáveis derivadas do Modelo Digital de Elevação é difundida, sendo que diversos parâmetros já obtiveram correlação significativa com classes de solos.

Caten et al. (2009) desenvolveram modelos para a distribuição espacial das classes de solos com probabilidade associada, utilizando nove atributos de terreno derivados de um MDE/SRTM. Os modelos foram gerados por Regressões Logísticas Múltiplas a partir do modelo Logit e o mapa de solos existente no local foi utilizado para testá-los. Neste estudo, foram atribuídas probabilidades de ocorrência para cada classe de solo e gerados planos de informação para os valores máximos das classes de solos, que foram posteriormente agrupados para gerar um mapa predito. Os autores atingiram um grau de significância em que todas as variáveis explicativas têm correlação significativa com a variável resposta que é o mapa de solos existente.

Bock e Köthe (2008) utilizaram o software de código aberto SAGA – GIS para prever a profundidade de caracteres de solos hidromórficos influenciados pela água no solo (caracteres hidrogeológicos ou águas subterrâneas). Os autores propuseram um modelo que considera a distância vertical de uma posição específica para o canal de drenagem como possuidora de uma conexão com as características de solos hidromórficos. Foi considerada uma rede digital de cursos d'água, o modelo digital do terreno e estações de águas subterrâneas como dados de entrada.

Dentre as variáveis derivadas do terreno está o Índice Topográfico de Umidade – TWI, que é utilizado para representações relacionadas à dinâmica hídrica do solo. Rennó e Soares (2003) utilizaram o índice topográfico para determinar a profundidade

do lençol freático na bacia do Rio Piracicaba em São Paulo. Este estudo elucidou alguns conceitos relacionados ao índice: definindo a divisão do perfil de solo em zona saturada e zona de aeração, que vai da superfície do solo até o lençol freático, sendo a zona saturada correspondente ao lençol freático.

Assumindo que a zona não saturada está a uma distância Z_1 do lençol freático, quando este atinge a superfície - $Z_1 = 0$ - o perfil inteiro está saturado, surgindo uma área contribuinte para o escoamento superficial, esta área saturada é determinada como área de contribuição variável, e é dependente da profundidade do lençol freático.

Na zona saturada num ponto i existe um fluxo lateral subsuperficial (Lei de Darcy) descrita por: $Q_i = T_i(Z_i) \tan \beta_i$. Em que: $T_i(Z_i)$, é a transmissividade no ponto i , e, $\tan \beta_i$ é declividade na superfície no ponto i . (RENNÓ e SOARES, 2003)

Em qualquer ponto em uma encosta, a taxa q_i do fluxo saturado da subsuperfície de declive por unidade de comprimento da curva de nível em m^2/h é descrita pela equação:

Equação 2 – Taxa do fluxo saturado da subsuperfície de declive

$$q_i = T_0 \tan \beta_i e^{\frac{-S_i}{m}}$$

Onde T_0 é a média de transmissividade do solo, (um solo homogêneo por toda a área de contribuição é assumido) β_i é o ângulo de declividade, S_i é o déficit de armazenamento local, e m descreve a mudança na transmissividade de acordo com a profundidade. Baseada nesta aproximação exponencial o déficit local é derivado como:

Equação 3 – Déficit de armazenamento local

$$S_i = \bar{S} + m \left[\Lambda - \ln \left(\frac{\alpha}{\tan \beta} \right)_i \right]$$

Onde \bar{S} é a média do déficit de armazenamento, e Λ é a média real de $\ln(\alpha / \tan \beta)$. O parâmetro m é relativo a uma propriedade hidráulica de águas subterrâneas, a Transmissividade t . Sendo esta, uma medida da quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por unidade de largura de uma camada saturada de um aquífero, sob um gradiente hidráulico unitário, ou em outra definição, a capacidade de

um aquífero de transmitir água horizontalmente, por largura e espessura saturada do aquífero sob um gradiente hidráulico unitário, tal relação é descrita por:

Equação 4 - Transmissividade

$$t = b \times k$$

Sendo b a espessura do aquífero em metros, e k , a sua condutividade hidráulica (m/s) (WENDLAND, 2013)

Fiori et al. (2010) agruparam os solos do Estado de Goiás de acordo com seu funcionamento hídrico, podendo os agrupamentos funcionais serem empregados em modelagens hidrológicas. Os autores descreveram os Gleissolos e os Organossolos, como grupo 5 segundo seus valores de condutividade hidráulica por conter as coberturas com menores valores absolutos de $K\theta_v$ (condutividade hidráulica vertical na zona não saturada) desde a superfície até as maiores profundidades. Estes solos ocorrem em áreas planas e permanecem a maior parte do tempo encharcados com nível de saturação próximo à superfície. É o grupo de solo onde há o maior percentual de resultados de $K\theta_v$ menores ou iguais a 10^{-8} m/s, e menores ou iguais a 10^{-7} m/s, o que mostra que a associação de Gleissolo e Organossolo tem as piores condições de drenagem do perfil, e por isso são permanentemente, ou sazonalmente encharcados (FIORI et al., 2010).

Considerando as correlações observadas a respeito dos atributos do terreno, no desenvolvimento da análise aqui proposta, buscou-se verificar a distribuição dos solos hidromórficos da Bacia do Rio Jardim. A partir dos atributos derivados do MDE, observando que o mapeamento digital de solos deve ser realizado de forma pontual e personalizada, e levando em conta as particularidades de cada região dentro de um modelo proposto, sendo, neste caso, para a Bacia do Rio Jardim. As classes de solos hidromórficos não encontram uma distribuição generalizada, uma variável de importância, devido à espacialização desta categoria de solos configurar um sítio de pressões ambientais, dada à agricultura intensiva praticada na região. O que demonstra um fator de elevada importância para a preservação da integridade do ecossistema local, para a preservação do recurso hídrico e para a manutenção das atividades de exploração desenvolvidas na área que utilizam direta e intensivamente o recurso solo.

4.4 Materiais e Métodos

A elaboração do mapa de distribuição espacial de classes de solos considerou os atributos obtidos por meio de ferramentas de interpolação distintas, a partir do Modelo Digital de Elevação - MDE que, obtiveram uma correlação bem delineada, considerando a análise visual efetuada, com a ocorrência de solos hidromórficos. Considerando, o Índice Topográfico de Umidade – TWI, a variável de predição avaliada no estudo como possuidora da capacidade de derivar de outros parâmetros resultantes de processamento, por meio através dos conjunto de ferramentas disponíveis nas plataformas de geoprocessamento utilizadas neste estudo (ArcMap 10.1, e SAGA-GIS 2.1.0). Optou-se por utilizar os parâmetros: Distância Vertical para as Linhas do Canal; e Área de acumulação através do método do fluxo de massa, derivados do MDE obtidos pelos módulos de ferramentas do SAGA-GIS 2.1.0.

As variáveis escolhidas para compor o modelo proposto são apresentadas conforme o desenvolvimento das etapas de trabalho. Para a escolha dos parâmetros utilizados no estudo foi considerada a revisão da literatura efetuada e a análise dos resultados experimentais obtidos. Sendo que a confecção dos dados utilizados no estudo se deu conforme ilustrado no fluxograma a seguir apresentado na (**Figura 10**).

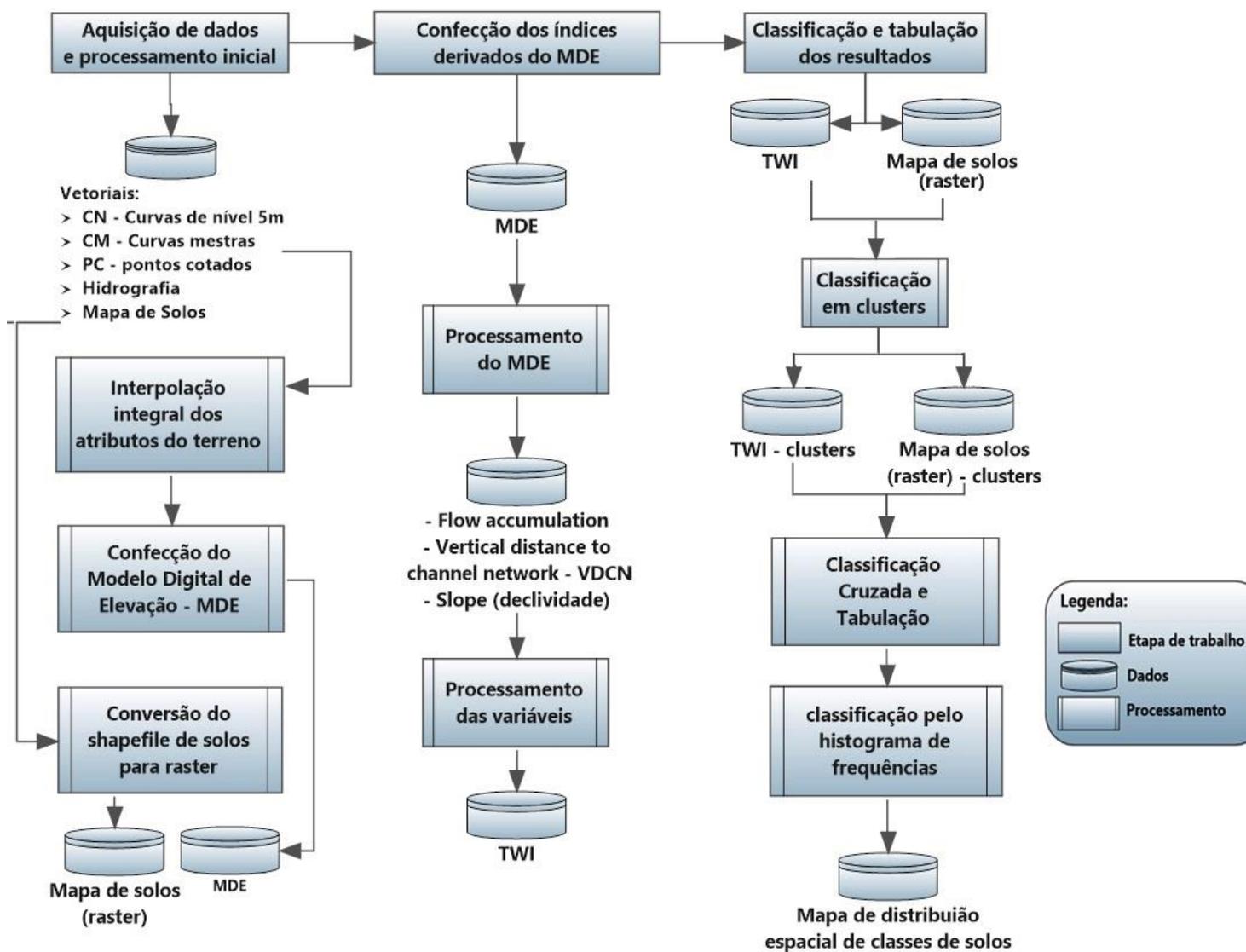


Figura 9 – Fluxograma da confecção dos dados

Foi utilizado o conjunto de dados vetoriais compostos por curvas de nível, hidrografia e pontos cotados, concedidos pelo Instituto de Geologia da Universidade de Brasília - IG – UNB, referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Jardim, na produção de um modelo Digital de Elevação por meio da ferramenta “*topo to raster*” do ArcGIS 10.1. Os dados foram inseridos na totalidade para a interpolação integral das informações contidas no conjunto de dados. O tamanho da célula foi fixado em 20m.

A seguir os dados foram exportados em formato “.tif” e carregados no *software System for Automated Geoscientific Analyses*, SAGA – GIS, a fim de proceder à geração dos índices derivados do terreno, como a declividade e a área de acumulação. A partir destes índices, foi calculado o índice de acumulação pelo método do fluxo de massa “*Catchment área (Mass-flux method)*”, disponível na biblioteca de módulos do *software*. Este método tem como saída o atributo de “acumulação de fluxo” (*flow accumulation*), que será utilizado no cálculo do Índice Topográfico de Umidade “*Topographic wetness index*” - TWI.

Dentre os dados de entrada para o cálculo do TWI, está o parâmetro de transmissividade, que foi atribuído ao parâmetro derivado do MDE: “*Vertical Distance to Channel Network*” (VDCN) relacionado com a altura da célula até a linha do canal. Esta decisão partiu do princípio que a transmissividade decresce da zona insaturada para a zona saturada do solo. Deste modo pode-se descrever as áreas saturadas, de transmissividade menor, como as áreas onde a distância vertical até as linhas de canal é menor.

O dado “*Vertical Distance to Channel Network*”, resultante do módulo “*Basic Terrain Analysis*” do SAGA–GIS, foi utilizado no cálculo do índice topográfico de umidade. Este módulo calcula um conjunto de dados em grades, que contém um valor para a distância vertical acima do nível das linhas de canal, para cada célula da grade. Estas linhas de canal são rotas teóricas, calculadas com base no modelo digital do terreno ou em feições pré-existentes. Frequentemente este parâmetro é usado em mapas geomorfográficos para apoiar o processo de mapeamento de solos e também como variável auxiliar em geoestatística (BOCK e KÖTHE, 2008). Este módulo é um algoritmo de interpolação que realiza uma agregação iterativa dos valores, e o número de passos depende do tamanho da grade do conjunto de dados. Este algoritmo interpola entre posições de células da grade com linhas de canal, sendo que todas as

células entre estas linhas de canal possuem um valor de elevação z . As células com linhas de canal são assinadas com os valores de elevação do modelo digital do terreno nesses locais.

O índice topográfico de umidade foi então calculado com os dados de entrada: “área de acumulação” como o parâmetro “*flow accumulation*”, e com o parâmetro de “*transmissivity*” – transmissividade, como a variável “*Vertical Distance to Channel Network*” - VDCN. O modelo de cálculo utilizado foi o TOPMODEL.

O TWI provem do modelo hidrológico TOPMODEL de Beven e Kirby (1978), e está relacionado com as condições de umidade do solo, indicando as tendências de saturação. Assim, quanto mais elevado for o valor desse índice em um pixel, mais elevada será a umidade encontrada. (TUTORIAL SAGA GIS)

O modelo TOPMODEL utiliza o índice topográfico de similaridade hidrológica baseado numa análise do dado topográfico que pode ser descrito como:

Equação 5 - Índice topográfico de Similaridade Hidrológica

$$\frac{a}{\tan\beta}$$

Onde a é a área cumulativamente drenada através de uma unidade de comprimento de uma curva de nível e $\tan\beta$ é a declividade. Geralmente o TOPMODEL pode ser usado para reproduzir o comportamento hidrológico das áreas de contribuição em particular, mantendo uma contabilidade continuada dos déficits de armazenamento, o que permite a identificação das áreas fonte saturadas conforme a área de contribuição, sob a aceção de uma efetiva tabela de gradiente de água e de fluxo saturado, paralela à declividade da superfície local ($\tan\beta$).

Após o cálculo do TWI, este dado foi alvo do procedimento de classificação em *clusters* com 10 classes pelo método da distância mínima iterativa de Forgy (1965), por meio do módulo “*Cluster analysis for grids*”. Em seguida foi realizada a conversão do *shapefile* do levantamento de solos da Bacia do Rio Jardim, (REATTO, et al, 2000) para o formato *raster*, para proceder também à classificação em *clusters* do dado seguindo o mesmo padrão adotado para a classificação do TWI.

A seguir, o módulo “*Cross-classification and Tabulation*” do SAGA-GIS 2.1.0 realizou a classificação cruzada e tabulação dos dados de classificação em *clusters*

anteriormente descritos. O dado foi então visualizado no ArcMap 10.1, sendo a , uma classificação por histograma em intervalos geométricos com 10 classes.

4.5 Resultados e Discussão

Na criação do Modelo Digital de Elevação – MDE, (**Figura 13**) quando efetuada a interpolação da totalidade dos dados topográficos (Curvas de nível, e pontos cotados) e de restituição da rede hidrográfica, foi constatada a eliminação de ruídos relativos ao processo de confecção do mosaico para os MDE's em separado, o que contribuiu para a melhora da qualidade dos variáveis derivadas do modelo.

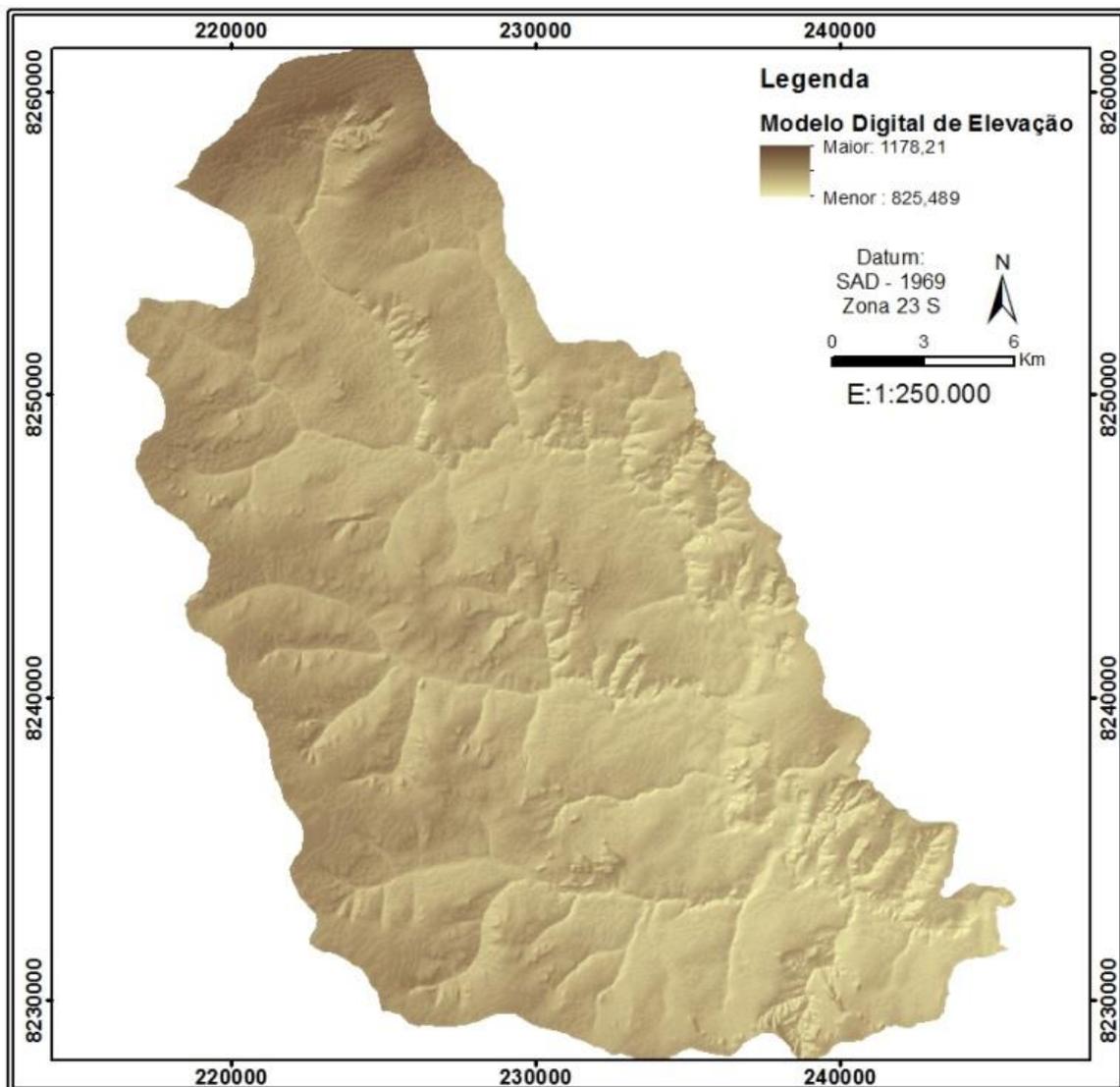


Figura 10 – Modelo digital de elevação com efeito “Hillshade”

O resultado do cálculo do TWI a partir dos parâmetros acima descritos é representado na (**Figura 12**). A amplitude do intervalo de valores correspondente ao Índice compreendeu a faixa de 2,84 até 31,98. Sendo também observada uma espacialização bem delimitada da faixa de valores maiores (próximos de 30), o que pode indicar uma correspondência mais representativa da distribuição real dos solos hidromórficos. Este dado deve ser confirmado a campo para validação das observações realizadas através do processamento dos dados digitais.

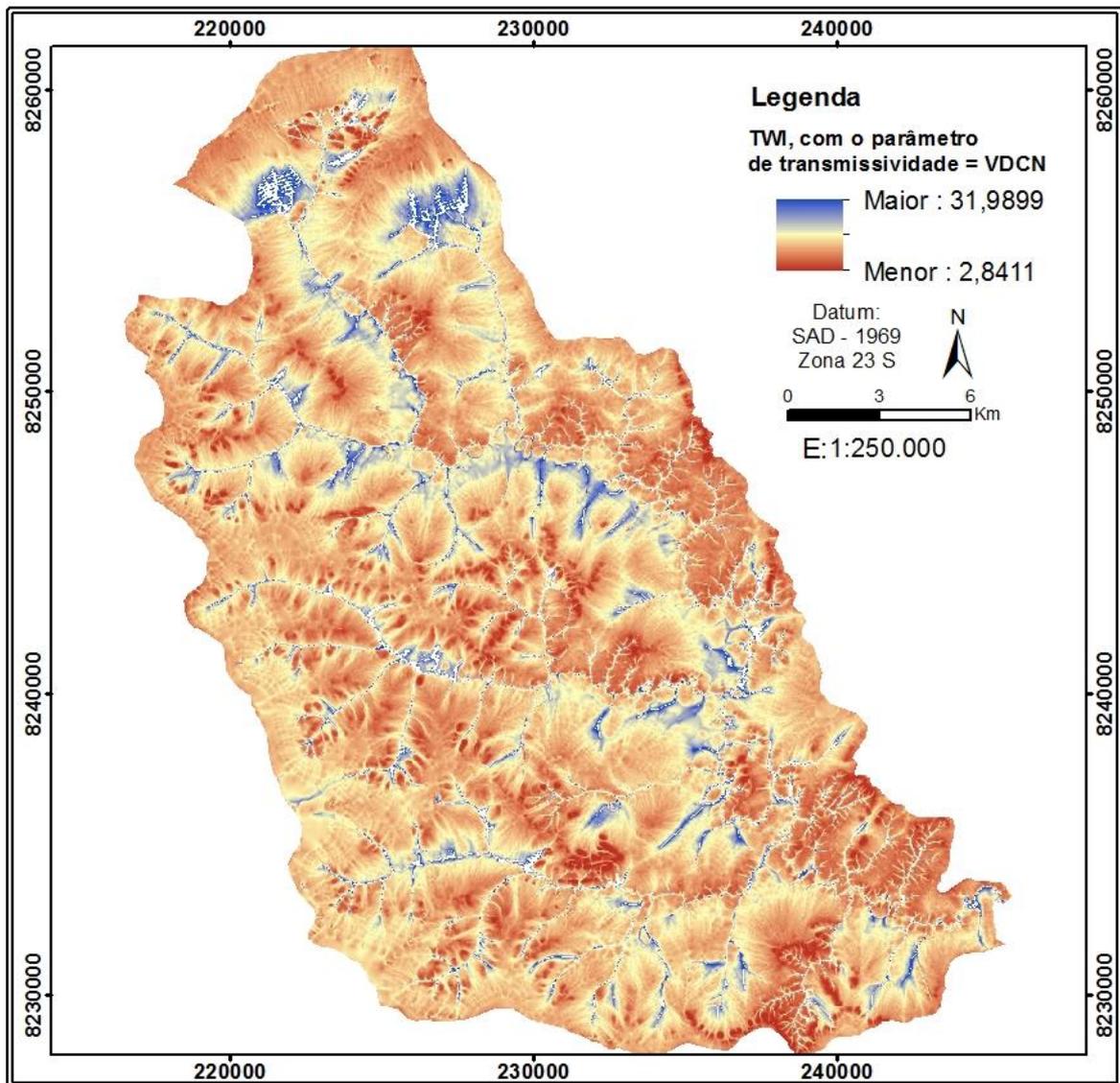


Figura 11 - TWI gerado a partir dos parâmetros Acumulação de Fluxo e Distância Vertical até a Linha do Canal

Constatou-se ainda a existência de áreas onde o dado não é consistente, ou não encontra distribuição dentro dos valores estabelecidos. Principalmente próximos às linhas de canal. O que pode ser resultado da utilização do parâmetro VDCN, pois esta variável atinge valores próximos de zero na linha de curso d'água, o que pode contribuir para o cômputo de um valor nulo no cálculo do índice o que deve ter ocasionado a inconsistência observada.

De posse do TWI procedeu-se a classificação em *clusters* deste dado, e em seguida a classificação cruzada e tabulação com o dado classificado em *clusters* do levantamento de solos em formato *raster*, este procedimento resultou no apresentado na (figura 13).

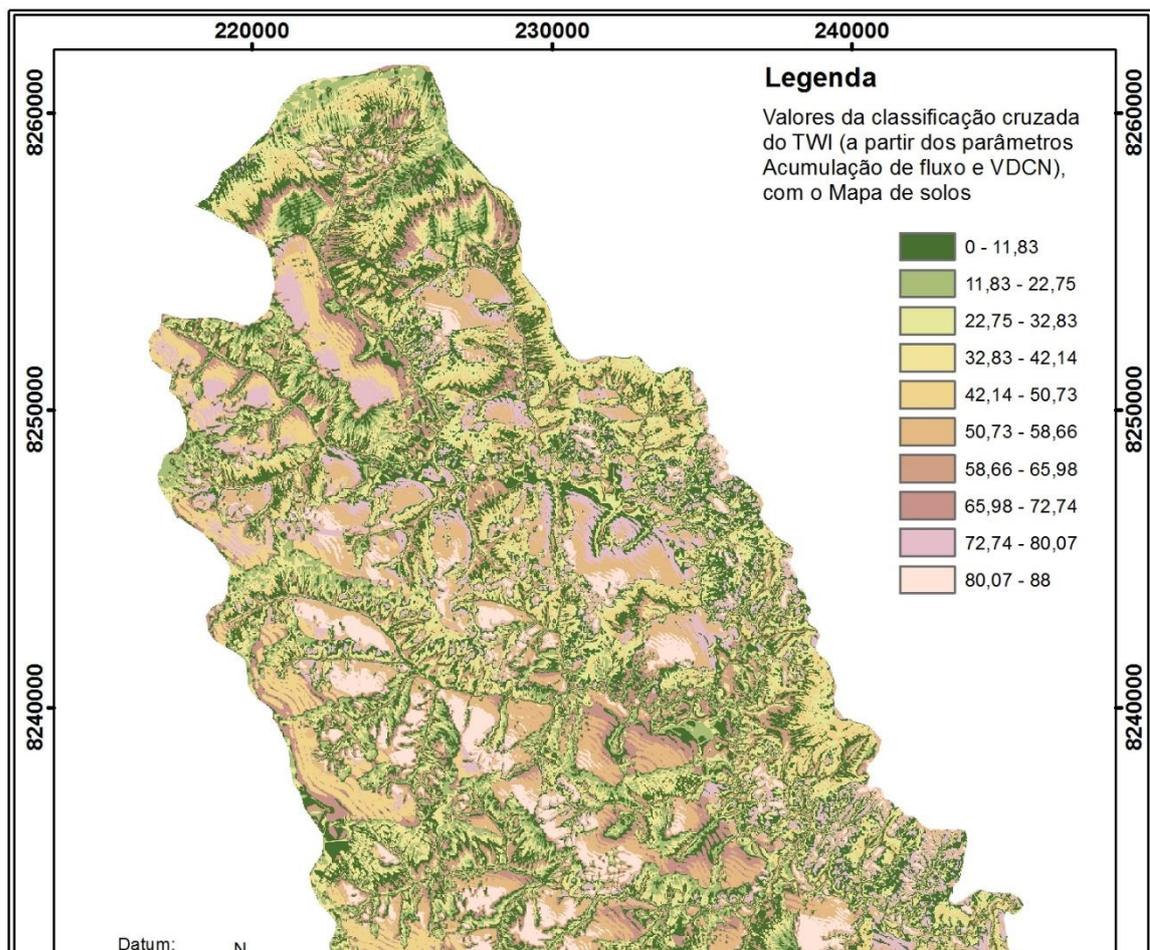


Figura 12 – Classificação cruzada e tabulação do TWI (a partir dos parâmetros Acumulação de fluxo e VDCN), com o Mapa de solos

Para representar melhor os valores da classificação cruzada e da tabulação que podem apresentar correlação com as feições alvo, os solos de caráter hidromórficos, a visualização do dado foi classificada em intervalos geométricos e foi atribuída a cor verde-escura para corresponder à classe que melhor representou a distribuição deste tipo de solo; Esta classe compreende os valores de 0 até 11,83. Embora este intervalo de valores se distribua por todo o mapa de uma forma descontínua, ainda podem ser observados faixas de contínuos delineados conforme o limite de feições de solos hidromórficos mapeadas.

O intervalo de valores em questão, é o que encontra a distribuição mais pronunciada no histograma de frequências do dado classificado, deste modo, para melhorar a visualização do dado, procedeu-se à exclusão dos valores considerados como ruído, por meio da análise visual do histograma de frequências. Esta faixa é observada principalmente nas transições entre as classes correspondentes aos limites entre as feições previamente mapeadas e encontra sua distribuição nos valores entre 0 e 1,01 como o ilustrado na (figura 14).

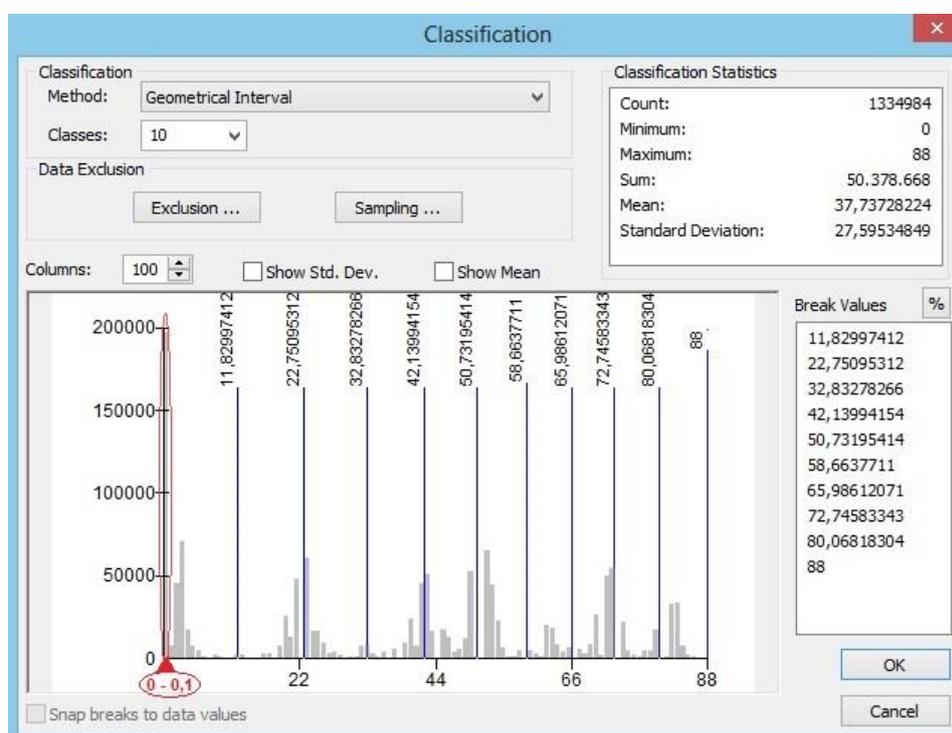


Figura 13 – Histograma de frequências dos dados do mapa de distribuição.

O dado então foi reavaliado e a ocorrência da nova classe foi ressaltada em magenta com sobreposição pelas classes de solos de caráter hídrico – Gleissolos, e de Neossolo Quartzarênico. Esta classe obteve uma melhor concordância com o intervalo restante (0 – 11,82) (**Figura 15**) embora também encontre uma distribuição aleatória na distribuição das classes de solos previamente mapeadas.

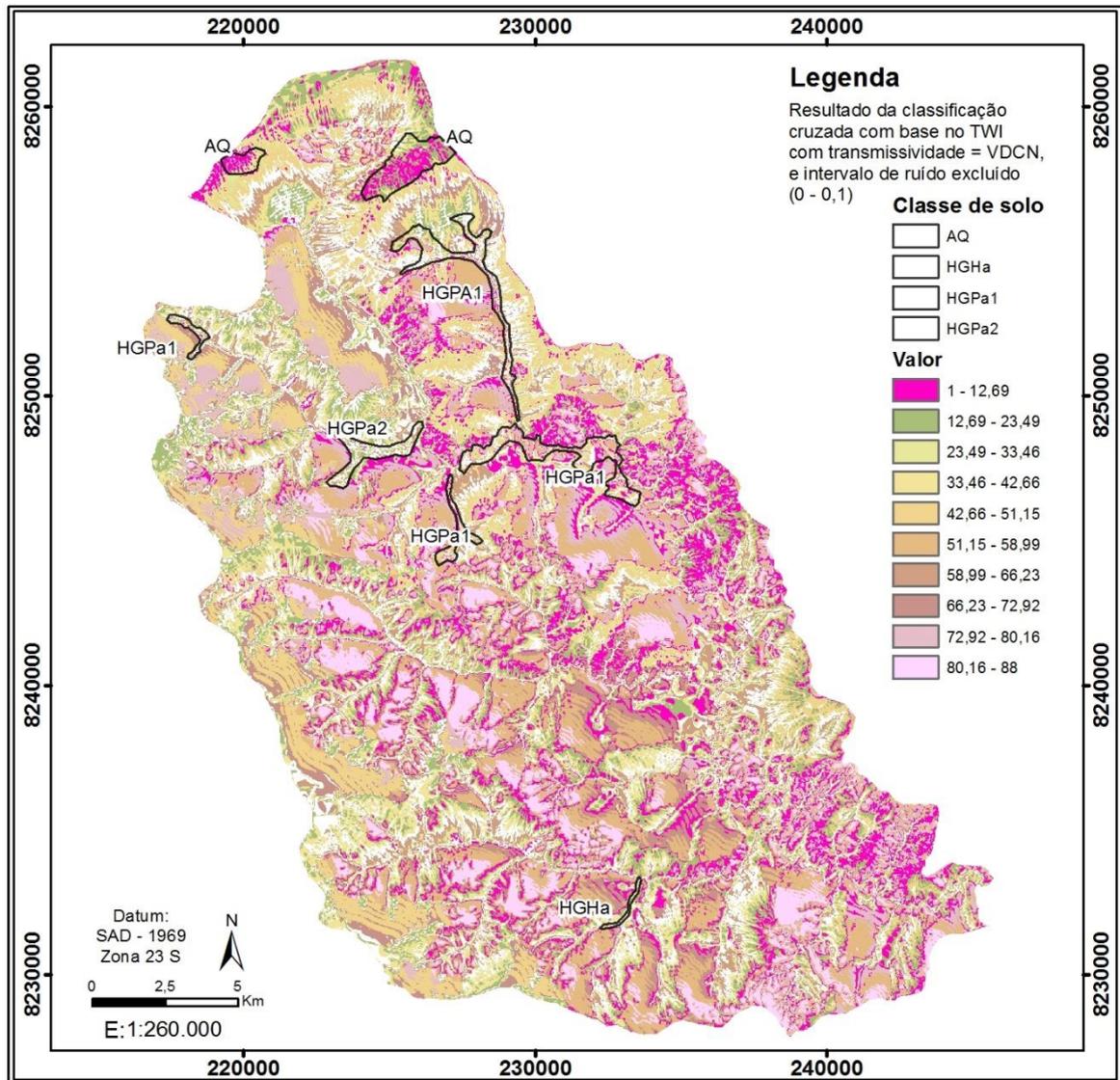


Figura 14 – Classificação TWI (VDCN) com intervalo de ruído excluído

Após exclusão da classe avaliada com residual de cálculo, pode-se obter uma melhor representação da distribuição da feição realmente mapeada no estudo. Esta encontrou uma correlação visual moderada com as classes de solos hidromórficos, obtendo uma distribuição esparsa e fragmentada por toda a área, o que não condiz, teoricamente, com a distribuição real da classe de solos hidromórficos, o que reforça a necessidade de avaliar os parâmetros de cálculo da inserção do parâmetro VDCN, melhorando assim o mapa de distribuição espacial de classes de solos. Bem como, avaliar os resultados à campo para a validação do conjunto de dados gerados.

4.6 Conclusão

- O MDE interpolado a partir da totalidade dos dados topográficos eliminou os erros referentes ao processo de “mosaicagem”, o que melhorou a qualidade dos dados gerados primariamente a partir deste;

- O Índice topográfico elaborado por meio da área de acumulação pelo método do fluxo de massa e com o parâmetro de transmissividade com o dado VDCN, ocasionou uma relativa distorção nos dados resultantes, ao adicionar valores nulos ao algoritmo de cálculo do TWI, este erro pode ter sido propagado, resultando num mapa de distribuição espacial de classes de solos com uma classe sobrepujante, que foi eliminada ocasionando uma perda de informações relativas à feição alvo, que era coincidente com a interferência analisada;

- A utilização da Variável VDCN deve ser melhor elucidada no cálculo do TWI, desmembrando as etapas de cálculo do índice topográfico, para proporcionar uma melhor resposta da adição do parâmetro escolhido.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES GERAIS DO ESTUDO

A utilização de ferramentas de sistemas de informações geográficas é de extrema valia para compor ferramentas de gestão do território baseadas em modelos de análises do terreno. A utilização destes modelos como base no planejamento do uso do solo, e levantamentos de ocorrências tanto de feições pedométricas, quanto de feições vegetacionais, correlatas com os sistemas naturais compostos pelas áreas de solos hidromórficos, que podem ser detectadas através de parâmetros advindos do processamento digital de dados topográficos, fornece informações que permitem uma melhor tomada de decisão por parte do gestor público.

O uso de ferramentas de Geoprocessamento facilita a aquisição e a manipulação de dados de alvos de difícil acesso a campo, graças ao seu caráter repetitivo, e possibilidade de atualização das informações e monitoramento de áreas, principalmente aquelas consideradas sensíveis à ação antrópica permitindo o gerenciamento de diversas informações de forma rápida e eficaz (ROIG et al., 2009)

Deste modo a avaliação da utilização e a determinação da acurácia e da verossimilhança dos parâmetros processados é uma necessidade para garantir a confiabilidade destas ferramentas. A construção de modelos baseados em ferramentas integradas de processamentos de dados é uma abordagem no mapeamento digital de solos que promove uma utilização adequada dos recursos digitais disponíveis, tornando as análises de campo mais direcionadas e revelando feições que podem auxiliar na análise mais acurada do terreno.

A demanda por informações de solos e por características componentes da paisagem em escalas de mapeamento detalhadas, impulsiona a ciência do solo a adquirir um caráter mais quantitativo. A utilização de ferramentas de processamento digital complementadas pelos levantamentos de campo otimizam, a utilização de recursos e mão-de-obra, uma situação progressivamente iminente.

Recomenda-se, para a realização de estudos futuros, a avaliação da acurácia do mapeamento, e a reavaliação da utilização de outros parâmetros advindos tanto dos índices de representação da paisagem baseados no MDE, quanto de outros dados que possam tornar a análise mais relevante, e condizente com as situações reais, como dados de vegetação obtidos por meio de imagens, e de validações nas áreas a serem mapeadas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. S; FONTANA, D. C. **Desempenho dos índices de vegetação NDVI e PVI para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo**, UFRGS. Faculdade de Agronomia/DPFA, XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil 2009,

AMBIENTE BRASIL. histórico da ocupação do território brasileiro. **AMBIENTE BRASIL**. Disponível em:

<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/geomorfologia/geomorfologia_-_historico_da_ocupacao_do_territorio_brasileiro.html>. Acesso em: Janeiro 2013.

BALBINO, VANESSA KARLA, **Análise da separabilidade espectral entre cerradões e matas de galeria no DF**, UnB GEA, mestre, gestão ambiental territorial -2004 dissertação de mestrado em geografia. 75p.

BEVEN, K. J. & KIRBY, M. J. **A physically based variable contributing area model of basin hydrology**, Institute of Hydrology Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques, Leeds, Yorkshire, 1978

BOCK, M.; KÖTHE, R. **Predicting the depth of hydromorphic soil characteristics influenced by Ground water**. Institute of Geography - Section Physical Geography – University of Hambur. Hamburg (Germany). 2008.

BRYANT, L. R.; BAILEY, S. **Third world political ecology, An introduction**. Routledge, 1997. 256p p.

CASTANHO R. B.; CASSOL, R.; BEZZI, M. L. **A modernização agrícola e o uso de técnicas de geoprocessamento no uso da terra em dois distritos de Palmeira das Missões-RS**, Geosul, Florianópolis, v. 19, n. 38, p 159-183, jul./dez. 2004

CATEN, A. T. et al. **Mapeamento digital de solos através da aplicação de componentes principais em modelos logísticos**. XIV Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil. 2009.

CATEN, A. T. **Mapeamento digital de classes de solos: Uma Abordagem Brasileira**. Ciência Rural, Santa Maria, v. v.42, Novembro 2012.

COUTO JUNIOR, A. F. ; SOUZA, V. V.; JÚNIOR, O. A. C; MARTINS E. S; SANTANA, O. A; FREITAS, L. F; GOMES, R. A. T; **Integração de Parâmetros**

Morfométricos e Imagem Aster Para a Delimitação das Fitofisionomias da Serra da Canastra, PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MG - Revista Brasileira de Geomorfologia, v.11, n.1, p.57-68, 2010

DOKUCHAEV, V. V. **The Russian Steppes: Study of the Soil in Russia, Its Past and Present**. St. Petersburg, Russia: Department of Agriculture Ministry of Crown Domains for the World's Columbian Exposition at Chicago. 1893.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro :EMBRAPA-SPI, 1999

FIORI, J. P. D. O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA,. **Variabilidade da condutividade Hidráulica das Principais Classes de Solos do Estado de Goiás**. Geociências, São Paulo, 2010.

FISCHER, M. **Creating a global soil map**. Science magazine, Outubro 2012.

FORGY, E. **Cluster analysis of multivariate data: efficiency vs. interpretability of classification**, Biometrics, vol. 21, pp. 768, 1965

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001.

HOLANDA, A. S. S. e GUERRA, C. E. **Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarém-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI**. in Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, Julho de 2010 .

HUANG, B.; WORBOYS, M. F. **Dynamic Modelling and Visualization on the Internet**. Department of Computer Science, Keele University. UK. 2013.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. **Digital Soil Mapping An Introductory Perspective**. Montpellier, Sydney, 2006.

LIN, W.; CHOU, W.; LIN, C.; HUANG, P.; TSAI, J. **Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds**. Hydrological Processes, v. 20, p. 289–306, 2006.

MACHADO E. C; CAMARGO, M. B. P; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I. **Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar.**, Instituto Agronômico (IAC), Campinas – SP. Seção de Climatologia Agrícola maio de 1984.

MARTINHO, P. R. **Funções de pedotransferência para a estimativa da disponibilidade de água nos diferentes solos do Brasil** - Ajuste de funções de pedotransferência para melhor parametrizar o funcionamento hídrico dos solos brasileiros – EMBRAPA Informática Agropecuária, 2006

MCBRANTNEY, Y. A.; ODEH, I. **An overview of pedometric techniques for use in soil survey**. Geoderma. [S.l.]: [s.n.]. 2000.

MENDES, W. P. de O.; CRUZ LEMOS, R. C.; LEMOS, L. G. de O.; CARVALHO, R. J. **Contribuição ao mapeamento em séries dos solos do Município de Itaguaí**. Rio de Janeiro: CNEPA: IEAE, 1954. 53 p.

MENEZES, P. R., e NETO, J. S. M., **Sensoriamento remoto - Reflectância de alvos naturais**. Embrapa, 2000, editora UnB, 262p.

MICHELON, C. J. E. A. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Cienc. Rural [online]**, Santa Maria, Abril 2010.

MMA BRASIL. governança Ambiental - Geoprocessamento. **Ministério do Meio Ambiente**, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento> MMA, 2013>. Acesso em: Fevereiro 2013.

MOREIRA, MAURÍCIO A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**, 2º Ed. UFV – Universidade Federal de Viçosa, 2003

MORENO, M. I. C; SCHIAVINI, I; HARIDASAN, M; **Fatores Edáficos Influenciando na Estrutura de Fitofisionomias do Cerrado**, Caminhos de Geografia, Uberlândia v. 9, n. 25 Mar/2008 p. 173 - 194 Página 173

NEUMANN, M. R. B. **Mapeamento Digital de Solos, no Distrito Federal**: Tese de Doutorado Instituto de Geociências - Universidade de Brasília, 2012.

NIZEYIMANA, E.; PETERSEN, G. W.; LOOIJEN, J. C. Land use planning and environmental impact assesment using geographic information systems. In: SKIDMORE, A. **environmental modeling with GIS and remote sensing**, 2002.

OFICINA: **CADEIA DE PRODUTOS DA SOCIOBIODIVERSIDADE**, in: I Encontro Nacional de Estudantes de Gestão do Agronegócio – FUP Fundação universidade de Planaltina. Brasília, 2012

PERRY, C.R. JR. E LAUTENSCHLAGER, L.F..**Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing Environment.** Vol. 14, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York, U.S.A., pp 169-182. 1984

POLIDORO, M. , E BARROS, M. V. F. **Utilização de Geotecnologias no Suporte a Gestão de Políticas Públicas Municipais**,Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS –nº 11 – Ano 7, Maio 2010

QUEIROZ, E.P.**A formação histórica do Distrito Federal e entorno: dos municípios-gênese à presente configuração territorial.**Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RAMOS, D. P. **Desafios da Pedologia Brasileira Frente ao Novo Milênio.** Palestra proferida no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, SP: [s.n.]. 2003.

REATTO, A. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do rio Jardim-DF, escala 1:50.000** - Planaltina : Embrapa Cerrados, 63p, 2000.

RENNÓ, C. ; SOARES,. **Uso do Índice Topográfico como Estimador da Profundidade do Lençol Freático.** Anais XI SBSR, INPE. Belo Horizonte, Brasil: [s.n.]. 2003.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction.** University of New South Wales, Australia.: Birkhäuser, 2006.

RICHARDSON, A.J., A; C.L., WIEGAND,.**Distinguishing vegetation from soil background information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** 1977.

RODRÍGUEZ, OCTAVIO.**La teoria del subdesarrollo de la CEPAL,** siglo veintiuno, mexico, 1993

ROIG, H. L.; BAYMA, A. P.; SOARES NETO, G. B.; MENEZES, P. H. B. J.; SANTOS, R. P. **Adequação de uma área situada na APA de São Bartolomeu-DF à legislação ambiental.** in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

SOIL SURVEY STAFF, 1951.**Soil survey manual.** USDA Handbook 18. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 503 p

TEIXEIRA, C. V. **Uso do sensoriamento remoto para delimitação de áreas inundáveis (várzea) na bacia amazônica.** Brasília. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2008, 84 p. Dissertação de Mestrado.

TUTORIAL SAGA GIS, **Caminhos e Possibilidades Básicas para o Entendimento do Potencial de Uso de um SIG.** Tradução livre a partir do manual SAGA-GIS da página oficial. [s.n.] Disponível em:

<<http://pt.scribd.com/doc/105484530/Tutorial-Saga-Giz>> Acesso em: Fevereiro de 2013

WENDLAND, E. SHS-5854 Hidráulica de Águas Subterraneas. **Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP**, 2013. Disponível em: <http://albatroz.shs.eesc.usp.br/~ew/SHS-5854/aulas/aula_3_parafisicos2.pdf>.

Acesso em: Maio 2013.

WOODCOCK, C. E.; MACOMBER, S. A.; KUMAR, L. Vegetation Mapping And Monitoring. In: SKIDMORE, A. **environmental modeling with GIS and remote sensing.** [S.l.]: [s.n.], 2002.

