UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MATHEUS BANDEIRA DE MIRANDA LIMA

A IMPORTÂNCIA DO USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF
2018

MATHEUS BANDEIRA DE MIRANDA LIMA

A IMPORTÂNCIA DO USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UnB como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Professor Doutor Pedro Zuchi

Brasília – DF

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

MATHEUS BANDEIRA DE MIRANDA LIMA

A IMPORTÂNCIA DO USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

_____

Prof. Dr. Pedro Zuchi da Conceição. Orientador. Faculdade de Economia, Administração Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – Universidade de Brasília.

_____

Prof. Dr. Luciano da Cunha Soares. Avaliador. Instituto de Geologia – Universidade de Brasília.

Brasília, 01 de março de 2018.

RESUMO

BANDEIRA, Matheus. **A importância do uso de veículos aéreos não tripulados para a recuperação de áreas degradadas.** Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Ciências Ambientais. Universidade de Brasília, 2018.

A contínua destruição de comunidades vegetais torna a paisagem suscetível aos processos erosivos. Entre as diversas formas de erosão, aquela provocada pelo escoamento superficial nas encostas semiáridas é a de maior expansão territorial no Brasil. Para mitigar esses processos, é importante reestabelecer a vegetação nativa e as interações biológicas que aumentam a infiltração e a retenção de água no solo. A análise ambiental para a restauração ecológica compreende um levantamento topográfico, a criação de um mapa de declividade, e a identificação dos locais mais suscetíveis à erosão. A partir de dados coletados por VANTs, buscamos analisar características fundamentais da paisagem, como a elevação, o escoamento hídrico superficial, e a incidência da radiação solar em áreas específicas, demonstrando a importância da ferramenta para a recuperação e o manejo de áreas degradadas.

Palavras chave: Manejo ecológico. Recuperação da biodiversidade. Serviços ambientais. Erosão. Análise territorial. Veículos aéreos não tripulados – VANTs.

ABSTRACT

BANDEIRA, Matheus. **The importance of using unmanned aerial vehicles for recovering degraded areas.** Undergraduate Final Assessment – Bachelor of Environmental Sciences. University of Brasília, 2018.

Continuous removal of plant communities transform the landscape into a susceptible environment to erosion processes. Among the various forms of erosion, that caused by superficial runoff is the one with greatest territorial expansion on the Brazilian territory. To mitigate them it's important to re-establish native vegetation and biological interactions that increase water infiltration and retention in the soil. An environmental analysis needs to comprise a topographic survey, creating a slope map to find most susceptible sites to erosion activities. Seeking to demonstrate the importance of using UAVs to environmental restoration and management, we sought to generate detailed elevation information, surface water flow maps, and images of solar radiation.

Key words: Ecological management. Biodiversity restoration. Ecosystem services. Soil erosion. Territorial analysis. Unmanned aerial vehicles - UAVs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Polígono georreferenciado da área de estudo, imagem de junho – 2010..... 7
Figura 2. Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental..... 8
Figura 3. Área de estudo segundo imagem fornecida pela Google – 2018..... 9
Figura 4. Mapa de elevação da região 10
Figura 5.1. *Phantom* 4. Câmera RGB FC330 4mm..... 11
Figura 5.2. 3DR Solo. Sensor *Parrot Sequoia*. 11
Figura 6. Exemplo de nuvem de pontos gerada a partir da aerofotogrametria.....13
Figura 7. Exemplos de Modelos Digitais de Terreno..... 14
Figura 8. Delimitação da drenagem a partir do processamento hidrológico em SIG..... 15
Figura 9. Etapas de processamento hidrológico no ArcMap.....16
Figura 10. Exemplo de incidência solar em uma região no hemisfério norte 17
Figura 11. Área degradada no Centro Olímpico da Universidade de Brasília.....19
Figura 12. Mosaico georreferenciado em alta resolução, novembro de 2017..... 20
Figura 13. MDE gerado com dados coletados pelo SRTM.....21
Figura 14. MDT gerado com dados coletados pelo VANT..... 22
Figura 15. Modelo de escoamento hídrico superficial (SRTM).....23
Figura 16. Modelo de escoamento hídrico superficial (VANT).....24
Figura 17. Sobreposição do escoamento superficial com a ortofoto gerada.....25
Figura 18. Radiação solar incidente, SRTM.....26
Figura 19. Radiação solar incidente, VANT.....27
Figura 20. Imagem NDVI, sobreposta a dinâmica de fluxo hídrico..... 28
Figura 21. Reserva Legal distribuída nas áreas de acumulação de fluxo 29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO……..4
1.1. A importância da biodiversidade e dos serviços ambientais …….....4
1.2. O solo como elemento chave dos processos ecológicos.....5
1.3. O objetivo do trabalho.....6

2. METODOLOGIA 7
2.1. Área de estudo 7
2.2. Materiais.....11
2.3. Métodos 12

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 20

4. CONCLUSÃO 30

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

1. INTRODUÇÃO

1.1. A importância da biodiversidade e dos serviços ambientais

A perspectiva ecológica é extremamente necessária para entender a estrutura e os processos dos diferentes tipos de ambientes terrestres. O estudo de processos contínuos da natureza entre o solo, a água, o ar, e a radiação solar, nos auxiliam a compreender a paisagem, e a implementar ações de conservação e restauração dos recursos naturais (CHAPIN et al., 2011; CAGAN, 2010).

Os processos de evolução e desenvolvimento da vida no planeta criaram uma rica diversidade de espécies e de ecossistemas (CHAPIN et al., 2011). Nesses ambientes, a interação da biodiversidade de plantas, micro-organismos e animais, com os fatores abióticos, é a base da maioria dos processos ecológicos (CHAPIN et al, 2011; CAGAN, 2010): serviços da natureza que beneficiam a sociedade e fornecem todos os recursos que utilizamos (CAGAN, 2010). Essas funções são a fonte da vida na Terra e envolvem todos os grandes ciclos biogeoquímicos, incluindo os processos de infiltração, retenção e acumulação da água no solo (CAGAN, 2010; CHAPIN et al., 2011).

O papel da biodiversidade nesses processos é considerado uma das características mais determinantes da nossa sociedade moderna (MACE et al., 2012; CAGAN, 2010). Um ecossistema rico em biodiversidade está relacionado à alta produtividade e eficiência de ecossistemas, fomentando o fluxo de energia e matéria através da interação dos organismos, favorecendo a resiliência do meio ambiente, assegurando a qualidade e a provisão de serviços ambientais (MACE et al., 2012). Atualmente, o crescimento da demanda por recursos naturais ameaça tanto a biodiversidade como as funções ecológicas em que esses organismos estão envolvidos (MACE et al., 2012). Segundo a Avaliação dos Ecossistemas do Milênio (2005), somente no começo deste século, mais de 60% dos serviços ambientais foram deteriorados ou alterados de alguma maneira por ações antrópicas.

Nesse contexto, o número de ações voltadas para a conservação e restauração dos solos e da biodiversidade cresceram de forma acelerada, devido às mudanças climáticas e à intensificação do uso dos recursos naturais. A contínua destruição de comunidades vegetais torna os ecossistemas suscetíveis aos processos erosivos (CORRÊA, 2007), uma das consequências mais destrutivas da remoção de vegetação (CHAPIN et al., 2011; BRADY e WEIL, 2013).

1.2. O solo como elemento chave dos processos ecológicos

Adhikari e Hartenink (2015) discorrem sobre a importância das propriedades pedológicas na provisão de serviços ambientais. Os autores salientam que a maioria dos processos ecológicos ocorrem no solo, e que a complexidade do ambiente pedológico proporciona diversos processos e interações que criam os serviços ecossistêmicos. Dessa forma, respeitando o correto manejo e a adequada disposição das espécies, é possível reestabelecer a interação da vegetação com a microbiota, para fomentar a infiltração e a acumulação hídrica, evitando assim os processos erosivos (RODRIGUES, 2013; CORRÊA, 2007).

A remoção da vegetação provoca a erosão e o assoreamento dos solos e impede a interação entre a microbiota e as comunidades vegetais (MONTEIRO, 1988). Solos descobertos tendem a sofrer erosão hídrica e eólica, causada principalmente pela remoção da vegetação nativa. A erosão provocada pela água tende a ser maior em regiões semiáridas (BRADY e WEIL, 2013), solos descobertos tendem a ficar muito suscetíveis à erosão na época chuvosa (CORRÊA, 2007). A degradação do solo pode assorear corpos hídricos e afetar negativamente os ecossistemas de forma irreversível:

> À medida que a vegetação natural é alterada, o solo permanece exposto ao vento e às gotas de chuva, levando à erosão e a perda de solo junto com seus materiais orgânicos e nutrientes. Nesse estado, o solo só consegue suportar culturas que não se desenvolvem bem ou outras vegetações que o deixam com uma menor superfície protetora e menos raízes se desenvolvendo do que anteriormente. Depois disso, a perda do solo se agrava de tal forma que sua profundidade e capacidade de reter a água são muito reduzidas, e a vegetação, que mal consegue sobreviver, faz com que o solo se torne extremamente degradado. Assim, incapaz de fornecer nutrientes e água necessários para sustentar o crescimento saudável da vegetação natural ou de culturas agrícolas, o local continua a erodir, poluindo rios com sedimentos e tornando as pessoas, principalmente as que dependem da terra para sobreviver, mais empobrecidas (BRADY e WEIL, 2013, p. 583).

A espiral descendente de degradação é resultado das interações negativas entre o solo e a vegetação (BRADY e WEIL, 2013). Entre as diversas formas de erosão, aquela provocada pelo escoamento superficial e subsuperficial nas encostas é o processo erosivo de maior expansão territorial no Brasil e no mundo (CORRÊA et al., 2014). Nesse contexto, é fundamental e urgente que os solos sejam preservados e a biodiversidade restaurada, visando a sustentabilidade dos recursos naturais. Com o reestabelecimento da vegetação e das interações biológicas é possível recuperar a resiliência do ecossistema (RODRIGUES, 2013). A partir do fomento à interação das plantas com a micro biodiversidade do solo, é possível incorporar novamente na paisagem os processos de infiltração e retenção hídrica, além de diversos outros serviços ambientais realizados pela natureza (BRADY e WEIL, 2013; CAGAN, 2010; CHAPIN et al. 2011;).

1.3. O objetivo do trabalho

As recentes crises de abastecimento no Distrito Federal e no estado de São Paulo levaram o Poder Executivo a fomentar o desenvolvimento de políticas públicas de restauração da vegetação nativa, como o Decreto N° 8.972, de janeiro de 2017, que instituiu a Política Nacional da Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG), apresentando diretrizes para assegurar a proteção dos recursos hídricos e a conservação dos solos, a partir da recuperação das comunidades vegetais. Entre um dos seus objetivos, o PROVEG busca subsidiar os principais fatores de sucesso das atividades de restauração, reduzir os custos para os proprietários de terra e viabilizar mais eficiência e eficácia para os projetos de recuperação florestal. Nesse contexto, este trabalho busca demonstrar a importância da análise ambiental a partir da aerofotogrametria com veículos aéreos não tripulados – VANTs –, gerando subsídios essenciais para o manejo ecológico da paisagem.

O geoprocessamento se torna, cada vez mais, uma ferramenta fundamental para tomada de decisões. Ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG) podem ser utilizadas de formas variadas, dados geográficos em diferentes escalas podem ser manejados para representar diferentes tipos de informações territoriais (CARVER, 1991). Atualmente, a gestão pública no Brasil passa por um processo de incentivo à incorporação de geotecnologias, visando auxiliar o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas na identificação espacial das áreas de intervenção e no monitoramento dos programas nacionais (FERRAZ et al, 2015). Contudo, a maioria das análises espaciais são realizadas com dados coletados por sensores orbitais (satélites), em escala superior a 30 metros por pixel, resolução na qual não é possível identificar certas características importantes da paisagem.

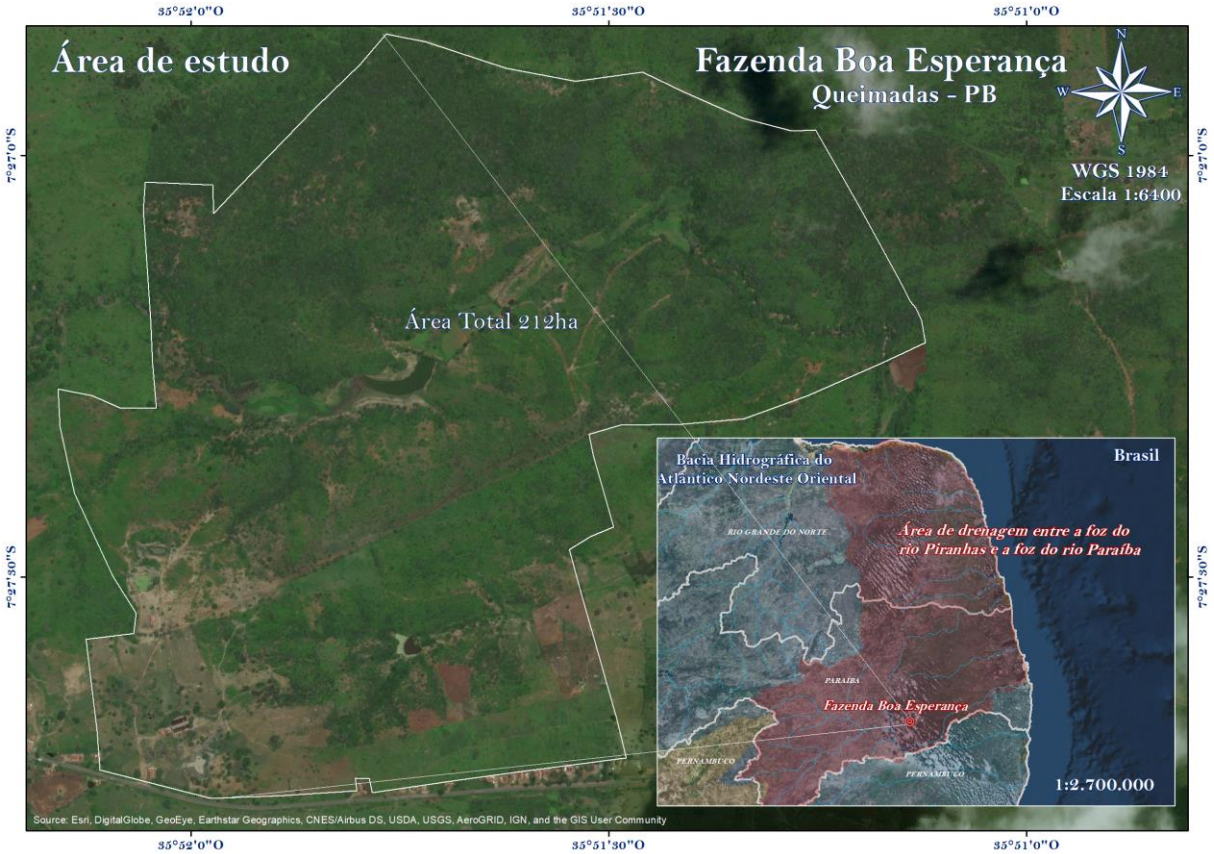
Neste trabalho buscamos demonstrar a importância da aerofotogrametria com VANTs para obter melhores subsídios a restauração ecológica. O uso de aeronaves não tripuladas já ocorre em diversos órgãos da Administração Pública federal (p. ex. Polícia Federal; Polícia Rodoviária; IBAMA; ICMBio), os veículos são instrumentos autônomos dotados de uma variedade de sensores, cuja utilização vem sendo difundida em ações de pesquisa e análise ambiental (BARRIOS e CUNHA, 2007). Essas ferramentas permitem a visualização da paisagem em baixas altitudes, e possibilitam gerar dados em alta resolução, que identificam características da paisagem difíceis de serem adquiridas com sensores orbitais.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Como área de estudo escolhemos um exemplo de propriedade que desenvolveu intensa atividade pecuária nos últimos 8 anos, acompanhada de queimadas, disseminação de espécies exóticas e pouca precipitação (figura 1). As interferências na vegetação nativa mudam a resiliência potencial da biodiversidade, aumentam o intemperismo mecânico, e diminuem os processos de infiltração hídrica, sobrecarregando com sedimentos o escoamento superficial (CORRÊA et al., 2014).

Figura 1. Polígono georreferenciado da área de estudo, imagem de julho – 2010.

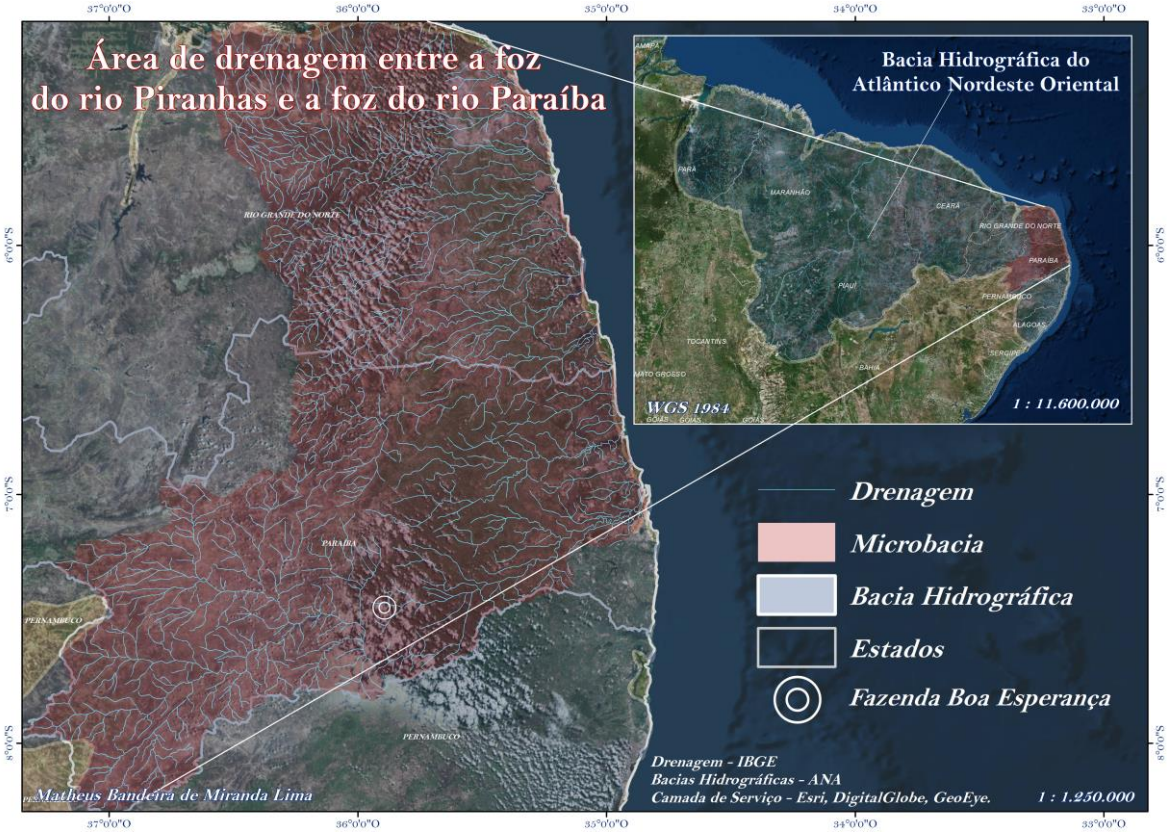


Fonte: Autor, 2017.

A propriedade está localizada na Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, na região de drenagem entre a foz do rio Piranhas e a foz do rio Paraíba (figura 2). Segundo Corrêa et al. (2014) a principal feição geomórfica da região é definida pela ocorrência de vastas superfícies planas, pouco dissecadas, articuladas entre si, estruturadas sobre rochas cristalinas proterozoicas e arqueanas. Também marcada pela azonalidade com um regime de chuvas mal distribuído ao longo do ano.

Monteiro (1988) discorre que as características abióticas da região semiárida são condicionadas, além da morfodinâmica da circulação atmosférica regional, pelas formas tradicionais de uso da terra na região. As relações antrópicas com o ambiente vêm afetando há séculos a cobertura vegetal do semiárido, seja pela sua remoção total ou degradação parcial (CORRÊA et al., 2014).

Figura 2. Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental.



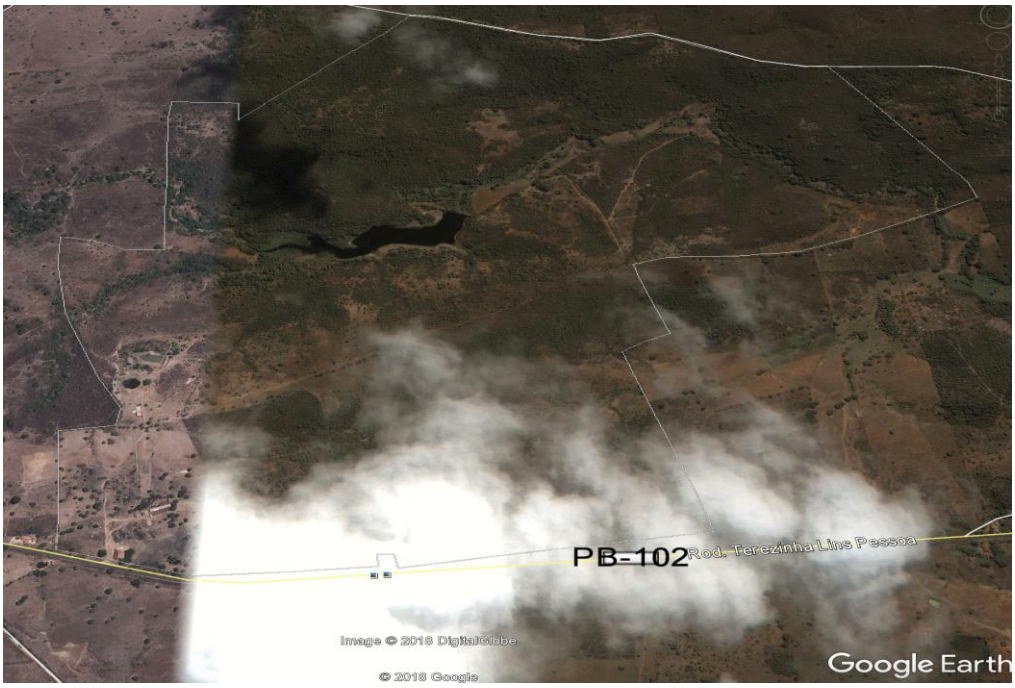
Fonte: Autor, 2018.

Depois de um longo período com a vegetação estabelecida nas áreas de drenagem, a fazenda intensificou a atividade pecuária de forma excessiva: rebanhos foram alocados em áreas de preservação permanente, culturas de capim foram plantadas em locais de acumulação hídrica, espécies exóticas foram introduzidas, além da ocorrência de contínua compactação do solo com o livre trânsito dos animais. A pouca distribuição de chuvas também favoreceu queimadas, que intensificaram o processo de remoção e degradação das comunidades vegetais.

Buscando detalhar as informações de uso do solo da propriedade é importante utilizar dados recentes com uma boa qualidade de visualização. Ao analisar as características físicas do local a partir de imagens de satélite se está sujeito a informações desatualizadas. Dados recentes em boa qualidade de resolução geralmente são pagos, e ferramentas orbitais, como o Google

Earth Pro, muitas vezes são frustradas por acumulação de nuvens ou não são incentivadas a melhorar e atualizar as imagens em algumas regiões.

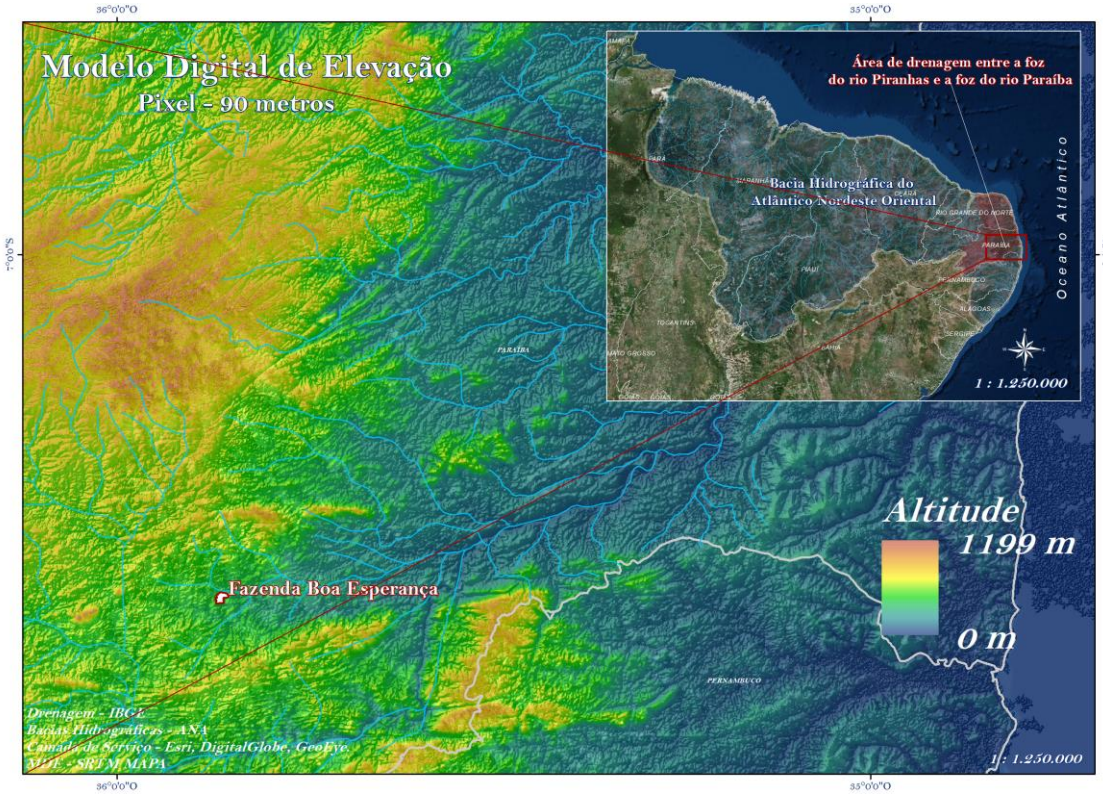
Figura 3. Área de estudo segundo imagem fornecida pela Google – 2018.



Fonte: Google Earth Pro.

Após a visita de campo na propriedade foi possível identificar que esses dados se encontram completamente desatualizados. Essa qualidade de informação dificulta a identificação das características físicas da área. Para uma análise adequada é necessário ter uma visualização atual e detalhada, com informações relevantes do uso do solo, da vegetação e do relevo. Em um contexto ainda mais desafiador, as informações orbitais de elevação são, em geral, de escala extremamente elevada, dificultando a identificação e características territoriais em pequenas e médias propriedades rurais (figura 4).

Figura 4. Mapa de elevação da região.



Fonte: Autor, 2018.

A representação da altimetria é fundamental para visualização da drenagem (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Segundo Collischonn e Dornelles (2015), as bacias hidrográficas podem ser representadas em diferentes escalas, identificadas a partir de informações do relevo. Contudo, dados de elevação coletados por satélites tendem a uma resolução extremamente reduzida, pixels de 90, 60 ou 30 metros não caracterizam a paisagem em uma escala suficientemente adequada para analisar áreas de pequena extensão.

Uma análise ambiental adequada envolve a caracterização do relevo e do comportamento do escoamento hídrico superficial. Segundo Corrêa (2007) o diagnóstico geomorfológico de uma área compreende um levantamento topográfico, a criação de um mapa de declividade, e a identificação dos locais mais susceptíveis à erosão. Com esse objetivo, buscamos, a partir dos dados coletados por VANTs, analisar a elevação, o escoamento hídrico superficial e a incidência da radiação solar na paisagem, demonstrando a importância dessa ferramenta ao manejo e à recuperação ecológica da propriedade.

2.2. Materiais

O desenvolvimento da nossa análise foi realizado a partir do sensoriamento remoto, utilizando dados coletados por veículos aéreos não tripulados – VANTs –, e através do geoprocessamento de imagens, utilizando ferramentas de análise espacial em sistemas de informações geográficas – SIG. As aeronaves não tripuladas possibilitam o desenvolvimento de processos fotogramétricos em alta resolução, gerando bases para criação de modelos de elevação e de superfície, facilitando o processo de análise territorial (BARRIOS e CUNHA, 2007). Fotogrametria é a ciência e a arte de criar cálculos precisos das medidas da paisagem (JENSEN, 2007). A aerofotogrametria com sensores RGB (figura 5.1) permite a elaboração de ortofotos georreferenciada, a partir do cálculo geométrico vertical de posicionamento da aeronave.

Atualmente, a aerofotogrametria digital inovou ao tornar acessível o desenvolvimento de cálculos complexos em um curto espaço de tempo. A sobreposição das imagens coletadas em baixar altitudes permite adquirir ortofoto georreferenciadas em alta resolução. Neste trabalho utilizamos sensores FC330 (3.61 mm), desenvolvidos pela *DJI*. Um sensor multiespectral – *Parrot Sequoia* (figura 5.2) – também foi utilizado para uma análise complementar. Desenvolvido pela *SenseFly*, a câmera emite frequências especificas do espectro solar para identificar variáveis do solo e da atividade metabólica da vegetação.

Figura 5.1. *Phantom* 4. Câmera RGB FC330 4mm.

Figura 5.2. 3DR Solo. Sensor *Parrot Sequoia*.

Fonte: Autor, 2016.

Buscando ilustrar a necessidade do sensoriamento remoto em baixas altitudes, comparamos dados gerados pela Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) com os dados coletados pelas aeronaves não tripuladas. A missão teve como objetivo mapear a superfície planetária, extraindo informações de altimetria, entre 56 graus de latitude sul e 60 graus de latitude norte, de maneira a compreender melhor o relevo do nosso planeta. Os dados foram

adquiridos no site da Embrapa (2018) e representam o que comumente é utilizado como base de dados para estudos que envolvem a elevação.

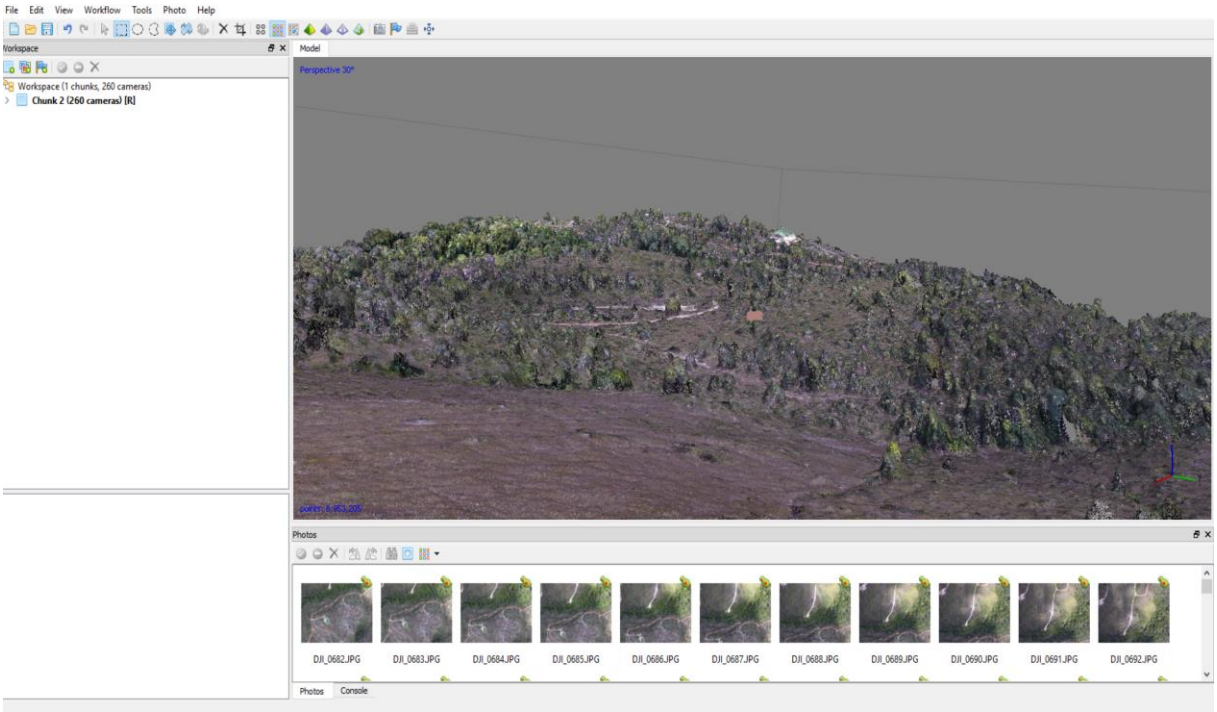
Nesse contexto, os VANTs surgem como uma ferramenta complementar na análise territorial. É muito importante compreender as características físicas da paisagem em escalas maiores, mas, ao analisarmos áreas como pequenas e médias propriedades rurais, é fundamental o refinamento da representação topográfica, e visual, da paisagem, utilizando tecnologias adequadas a escala em questão.

2.3. Métodos

A coleta de imagens na área de estudo ocorreu no dia 4 de novembro de 2017. O plano de voo abrangeu uma área de 300ha. A aeronave com o sensor FC330 coletou imagens georreferenciadas à 120m de altitude do ponto de decolagem, adquirindo 1200 imagens no total. O processamento dos dados foi realizado em três etapas. A fotogrametria foi realizada através do software Ag PhotoScan. A extração do modelo digital de elevação foi realizada no ENVI LiDAR. Enquanto o processamento em SIG foi desenvolvido no software ArcMap 10.3.1., utilizando as ferramentas de análise espacial.

Primeiramente, as imagens foram exportadas e processadas através de uma sequência de atividades no software de fotogrametria. O processo é baseado em cálculos geométricos verticais relativos ao posicionamento dos sensores (JENSEN, 2007). Foi realizado o alinhamento das fotos para adquirir pontos de sobreposição, e realizadas optimizações de correção geométrica, ambas através das respectivas ferramentas do software, a fim de adquirir maior precisão dos dados. Posteriormente, aplicamos um algoritmo fotogramétrico que utiliza cálculos de triangulação aérea para identificar a profundidade entre os pixels do modelo virtual (JENSEN, 2007). Este processo é a base para identificar os pontos de terreno e posteriormente extrair informações da elevação e dos elementos que compõem a paisagem.

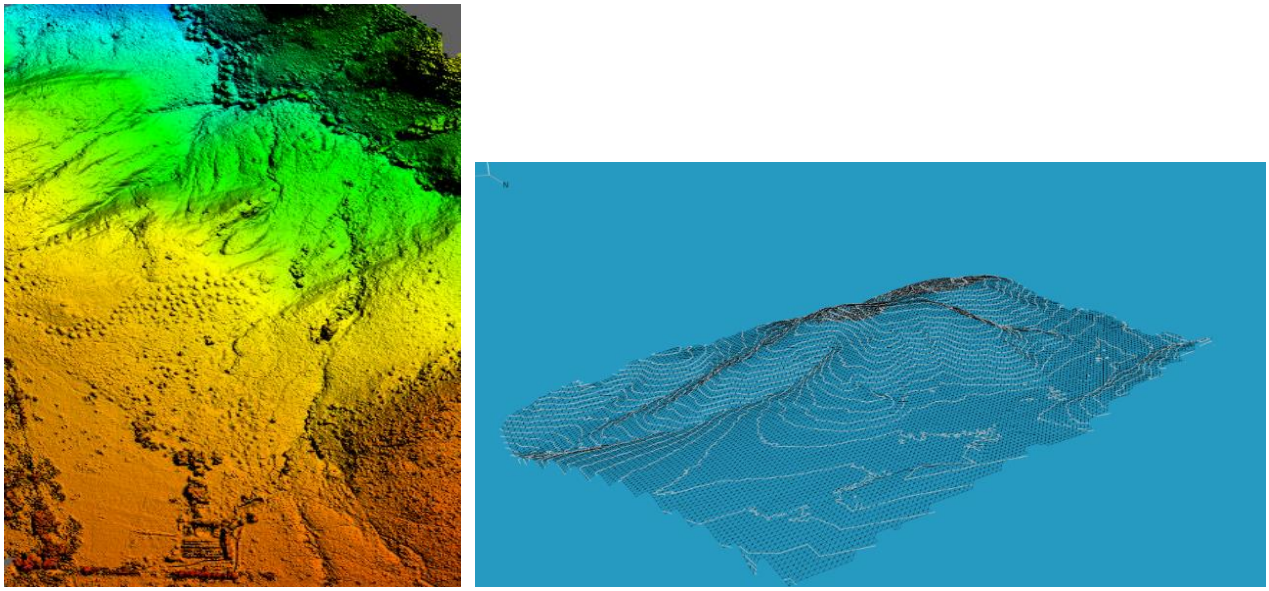
Figura 6. Exemplo de nuvem de pontos gerada a partir da aerofotogrametria.



Fonte: Autor, 2018.

O procedimento fotogramétrico foi finalizado com a exportação dos dados em ambiente lidar. A classificação da nuvem de pontos possibilita a identificação elementos relacionados ao solo e à vegetação. O *software* (ENVI LiDAR) tem como objetivo transformar o modelo de pixels em informações geográficas, podendo ser exportadas para aplicação de ferramentas de análise espacial. Com base no processamento criado pelos desenvolvedores da plataforma, é possível retirar pixels de árvores e construções do modelo, destacando os pontos de relevo da paisagem com o objetivo de criar o Modelo Digital de Terreno – MDT (figura 7).

Figura 7. Exemplos de Modelos Digitais de Terreno.



Fonte: Autor, 2017.

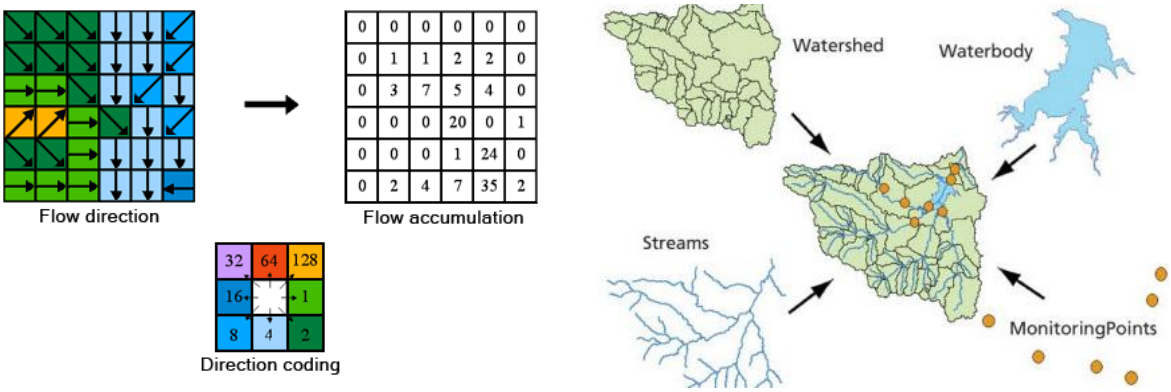
Como parâmetro de processamento no *software* utilizamos um padrão de classificação fixo de 50cm por pixel em cada representação topográfica, isso torna o modelo mais sensível a alterações do terreno, buscando melhorar a qualidade da representação dos dados. A classificação das feições próximas ao solo foi realizada em um padrão de até 35cm, essa etapa auxilia a identificar elementos que, apesar de serem identificados em altitudes próximas ao terreno, não são parte do relevo. Por fim, definimos os espaçamentos das curvas de nível em 300cm, de forma a obter uma representação topográfica adequada à escala de paisagem.

A análise digital da altimetria favorece a visualização e o armazenamento dos dados do relevo. Representado por diferentes tipos de representações gráficas, o MDT (figura 7) é comumente utilizado para calcular variáveis hídricas e traçar bacias hidrográficas (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). O modelo é um arquivo de representação contínua (*raster)*, a forma mais utilizada para análises de terreno ligadas a hidrologia e ao planejamento territorial (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). O modelo digital de terreno identifica cada pixel com um valor de altitude, criando um grid de informações que possibilita determinar dados relevantes sobre a vazão acumulada do escoamento hídrico superficial. O desenho do fluxo natural de água no terreno pode ser delimitado de forma manual, ou através da utilização de computadores, nos quais o relevo é representado de forma numérica pelo MDT.

A fase terrestre do ciclo hidrológico é frequentemente estudada em diversas áreas do conhecimento (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Originando-se a partir da precipitação, a interação da água com a superfície da paisagem forma fluxos naturais de vazão hídrica, governados pela gravidade e pelo relevo, convergindo para um único ponto de saída, formando as bacias hidrográficas (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

O processamento hidrológico da área de estudo foi realizado através das ferramentas de direção e acumulação de fluxo no ArcMap 10.3.1. (figura 8). Os dados de elevação, influenciados pela gravidade, direcionam o cálculo e demonstram a direção do fluxo no terreno. A partir da ferramenta é possível determinar os pontos de acumulação da precipitação nas microbacias, assumindo que as chuvas se tornam o escoamento superficial (figura 8).

Figura 8. Delimitação da drenagem a partir do processamento hidrológico em SIG.



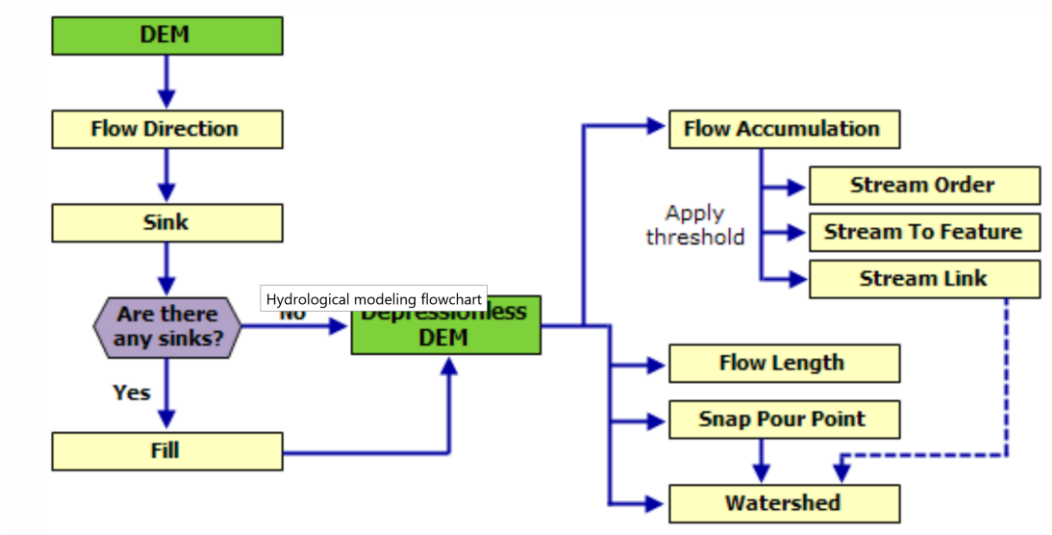
Fonte: ESRI, 2015

Em escalas maiores, o processamento do MDT gerado por sensores orbitais delimita córregos e rios. Nosso objetivo é visualizar a acumulação do fluxo de escoamento superficial em escalas menores, partindo de uma perspectiva que os processos naturais de escoamento (governados pelo relevo e pela gravidade) se repetem em diferentes escalas (fractais). Os resultados gerados podem ser utilizados para identificar processos erosivos em áreas específicas, o fluxo no terreno indica áreas onde continuamente ocorre a de acumulação superficial das chuvas, identificando áreas mais suscetíveis às atividades erosivas e de lixiviação (MEIJERINK et al., 1996).

Os algoritmos de acumulação hídrica superficial foram desenvolvidos ao longo do século XX (HORTON, 1945) e aperfeiçoados no século XXI (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Os modelos de análise espacial nos softwares de SIG incorporam os estudos desenvolvidos para visualizar as áreas de escoamento da precipitação em uma grande diversidade de terrenos. Para desenvolver a análise na área de estudo, processamos o MDT de

forma a aperfeiçoar a representação do relevo. As ferramentas de preenchimento *fill* e *sink* realizam a correção de buracos – *no data* – no arquivo, e melhoram a representação da superfície do solo para obter maior precisão nas etapas do processamento hídrico (figura 9).

Figura 9. Etapas de processamento hidrológico no ArcMap.



Fonte: ESRI, 2015.

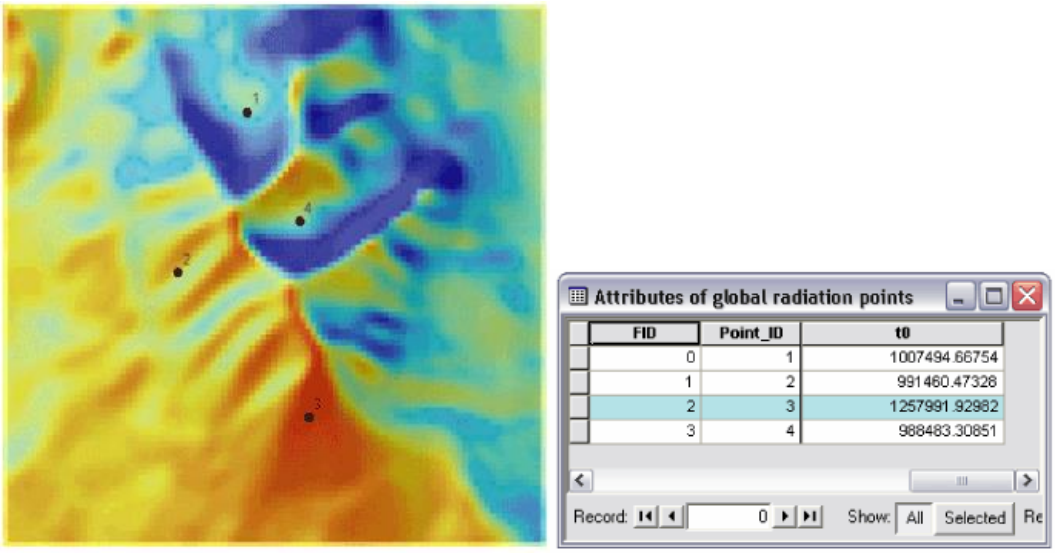
Ao raster gerado foram aplicados algoritmos de identificação de aspecto, informando para qual direção estão voltados os pixels do relevo (*flow direction).* Posteriormente, foi identificada a acumulação de fluxo (*flow accumulation*), utilizando valores (FLOAT) para determinar a direção do escoamento hídrico superficial. Os valores foram então representados pelos métodos de quebras naturais do *software*, também conhecida como Jenks, para se obter a melhor visualização da variável hídrica na paisagem.

A interação do relevo e da biodiversidade com a radiação solar também é uma variável fundamental para a análise territorial da paisagem. A energia recebida nos solos deve ser aproveitada, e a vegetação é o principal elemento para o estabelecimento desse processo. O uso de espécies vegetais para o aproveitamento da radiação favorece a incorporação de carbono no solo e cria microclimas favoráveis ao reestabelecimento da biodiversidade e dos serviços ambientais (RODRIGUES, 2013; CORRÊA, 2007; CHAPIN et al., 2011).

Normalmente, a base do cálculo com dados orbtais da energia incidente tem sido o MDE (KUMAR et al., 1997). Por ser um arquivo de representação contínua, é a alternativa mais utilizada na realização de análises do relevo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Utilizando a ferramenta de análise espacial de incidência solar em softwares de geoprocessamento é possível calcular a radiação solar incidente em áreas específicas (KUMAR

et al., 1997) ampliando os estudos dos processos ecológicos de uma determinada paisagem (figura 10).

Figura 10. Exemplo de incidência solar em uma região no hemisfério norte.



Fonte: ESRI, 2015.

A ferramenta espacial de análise solar calcula a insolação ao longo da paisagem, baseada em métodos de representação algorítmicas semiesféricas desenvolvidos por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al., 1994) e posteriormente aperfeiçoado por Fu e Rich (2000, 2002). O montante total de radiação calculada para um local em particular é representado pelo cálculo das variáveis de radiação direta, difusa e global, realizado repetidamente para cada pixel de representação topográfica.

Para identificar a insolação na propriedade utilizamos o modelo digital de superfície (MDS). Diferentemente do MDT, o MDS identifica a elevação das feições da vegetação e construções antrópicas que compõem a paisagem (JENSEN, 2007). Dessa forma, é possível calcular a insolação em cada elemento da propriedade, de forma a identificar sombreamentos ocasionados por espécies arbóreas, além de detalhes do relevo que influenciam na incidência solar. Para realizar esse cálculo utilizamos a ferramenta espacial do ArcMap 10.3. Baseada nas representações algorítmicas que foram apresentadas anteriormente, a ferramenta é capaz de automatizar o desenvolvimento de equações complexas. Utilizamos como parâmetro temporal o período de 1 ano, buscamos calcular a média de insolação diária com base nas diferentes angulações solares devido aos movimentos de translação e rotação terrestre. A ferramenta identifica automaticamente as posições geográficas de cada feição, além de incluir a determinação do aspecto de cada pixel para identificar a radiação incidente.

Em áreas de pequena extensão, com relevo predominantemente plano, a radiação tende a ser uniforme de forma que não constitui uma variável tão relevante para o estudo. Nesse contexto, o sensoriamento remoto multiespectral permite ampliar o escopo da análise, avaliando a intensidade fotossintética do local para quantificar e qualificar as áreas de desenvolvimento da vegetação.

Uma forma eficiente de quantificar os processos de fotossíntese é através do Índice de Normalização Diferenciada da Vegetação – NDVI. Utilizado pela primeira vez por Rouse *et al* em 1974, o índice tem sido usado em diversos estudos acerca das características da vegetação de uma determinada área.

Equação 1. Índice de Normalização Diferenciada da Vegetação.

$$\mathrm{NDVI} = \frac{R_{\mathrm{NIR}} - R_{\mathrm{red}}}{R_{\mathrm{NIR}} + R_{\mathrm{red}}}$$

A ferramenta possibilita identificar a intensidade da atividade fotossintética e também é capaz de destacar a diferença de umidade em solos expostos (JENSEN, 2007). Com o objetivo de explorar mais ferramentas de caracterização da paisagem, buscamos realizar uma análise complementar à acumulação de fluxo hídrico, em escala e relevo diferente de nossa área de estudo principal. Através de sensores multiespectrais acoplados aos VANTs é possível estimar características específicas de estresse hídrico, deficiência de nutrientes e pragas em espécies vegetais (JESSEN, 2007). Contudo, aqui buscamos identificar as áreas mais suscetíveis ao processo erosivo, prioritárias para o reestabelecimento da vegetação nativa.

A coleta dos dados multiespectrais foi realizada no dia 16 de setembro de 2016, no Centro Olímpico da Universidade de Brasília – DF, às margens do Lago Paranoá. A área é um exemplo de paisagem plana e pequena, onde a radiação incidente do terreno tende a ser uniforme (figura 11).

Figura 11. Área degradada no Centro Olímpico da Universidade de Brasília.

Fonte: Autor, 2016.

A área sobrevoada abrangeu um total de 18 hectares, em um período de aproximadamente 15 minutos. O VANT Solo transportou o sensor *Parrot Sequoia* à 80 metros do solo, coletando 998 imagens em 4 faixas espectrais distintas: vermelho, verde, borda do vermelho e infravermelho próximo. O processamento foi então realizado no software de fotogrametria Pix4D, e, a partir dos mesmos procedimentos fotogramétricos para as imagens RGB, quatro ortofotos foram geradas, uma para cada faixa de comprimento de onda.

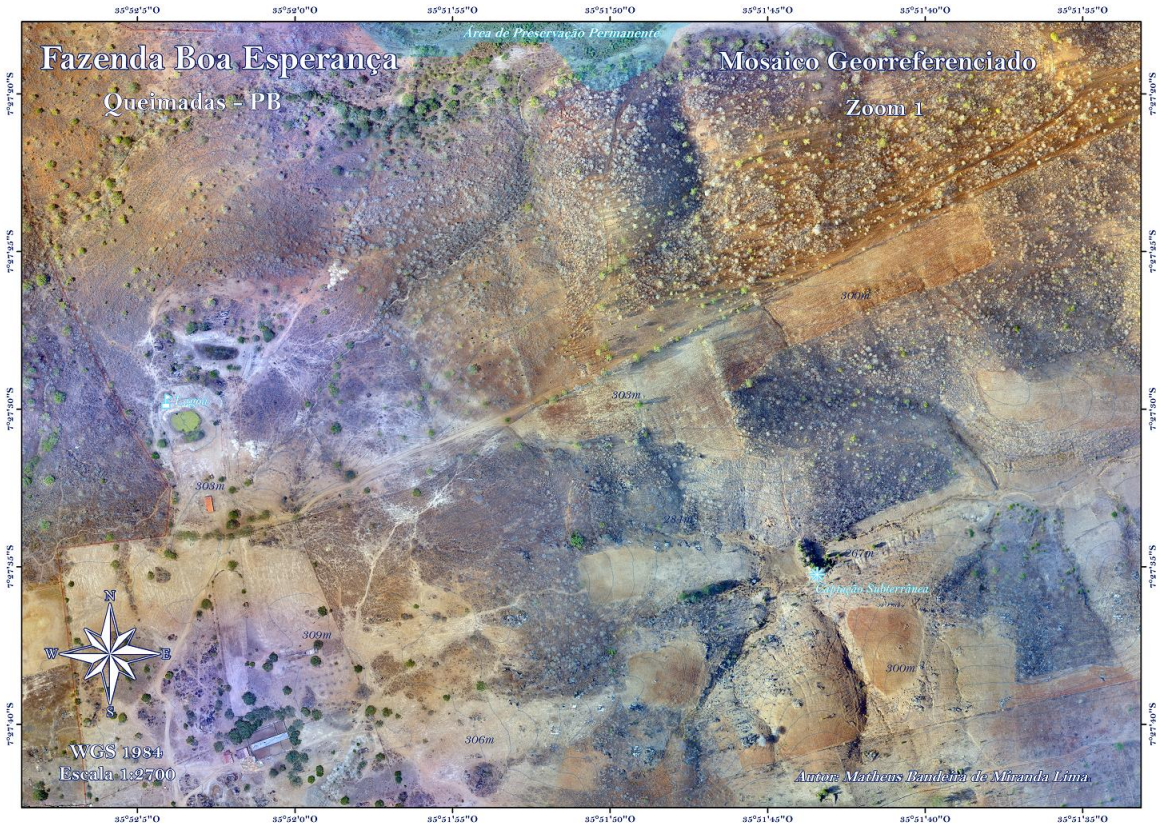
Para determinar a atividade fotossintética das formações vegetais, foram utilizadas as frequências do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R_{red}) no cálculo da equação do índice NDVI. Cada faixa está relacionada com uma frequência espectral de radiação solar. E quase como uma assinatura, as folhas refletem a radiação emitida pelo sensor de maneira variada, conforme sua atividade fotossintética (JENSEN, 2007). A ferramenta também é capaz de identificar diferentes níveis de umidade nos solos (JENSEN, 2007), gerando dados importantes que podem servir como subsídios às ações de restauração ecológica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre as modificações antrópicas superficiais na paisagem tende a influenciar processos geomorfológicos em ambientes semiáridos (MONTEIRO, 1988). A Caatinga apresenta distribuição irregular de perfis topográficos, facilmente atacada pela erosão quando acontecem eventos de desestabilização ambiental (CORRÊA et al., 2014). Segundo Monteiro (1988), a influência humana sobre a vegetação local, seja pela remoção total ou degradação parcial, afeta a capacidade abiótica do sistema causando mudanças na resiliência potencial da vegetação. A desestruturação da paisagem aumenta o intemperismo mecânico, sobrecarrega o escoamento hídrico superficial, e perturba os ecossistemas pela ação das corridas de lama e de acumulação de cascalho proveniente de enxurradas.

Ao observarmos a situação atual da paisagem é possível identificar claramente os efeitos da remoção da vegetação e da livre atividade pecuária em toda propriedade. As áreas anteriormente conservadas acumulavam água em locais estratégicos de captação hídrica no relevo. Atualmente, após um ciclo de quase 10 anos com pouca chuva, com o transito livre de animais em toda propriedade, além da ocorrência de queimadas de grande escala, a paisagem revela um cenário quase desértico (figura 12).

Figura 12. Mosaico georreferenciado em alta resolução, novembro de 2017.

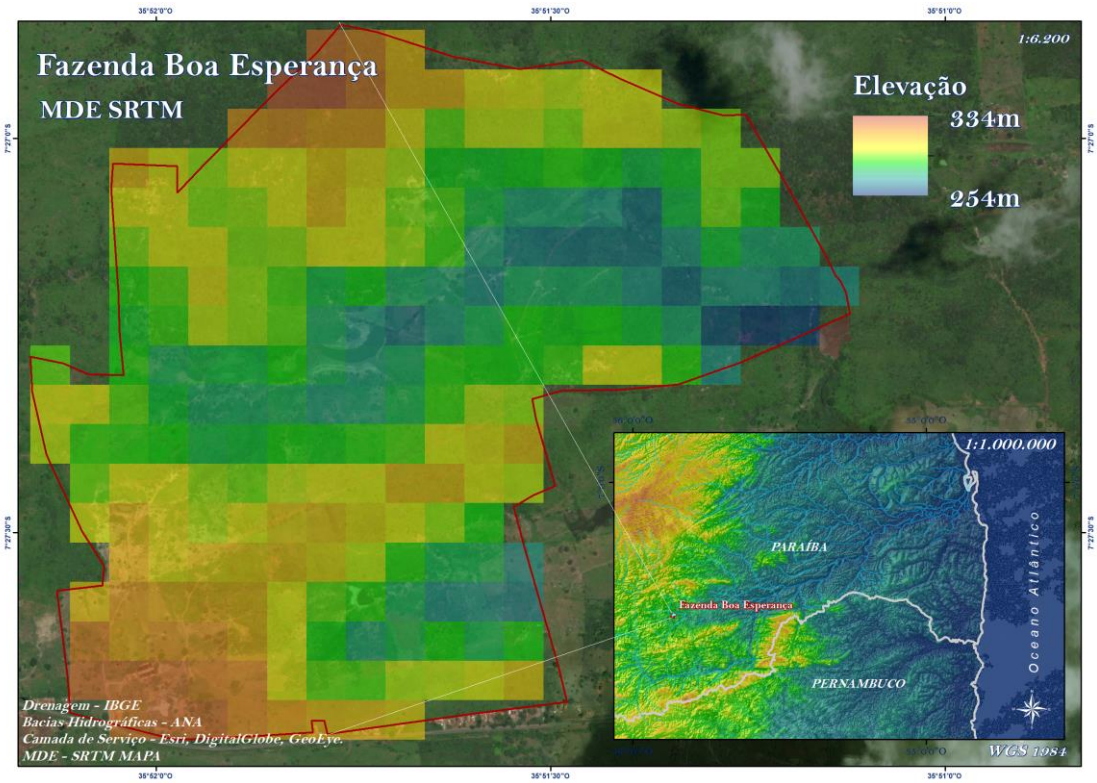


Fonte: Autor, 2017.

A ortofoto gerada permite identificar feições com uma resolução de 5,41 centímetros por pixel, que facilitam a caracterização dos elementos da paisagem e o monitoramento de supressões florestais. Dados nessa escala relavam detalhes difíceis de serem adquiridos por sensores orbitais, complementando as análises realizadas por satélites.

Para observar as características topográficas da propriedade também é preciso ir além das imagens de satélite. Ao se analisar de forma comparada as informações coletadas pelo SRTM e os dados coletados com o VANT, podemos ver a necessidade de se obter informações precisas na modelagem do relevo de ecossistemas terrestres. Os dados SRTM apresentaram quase 1 hectare por informação altimétrica e dificultam a visualização do terreno em menores escalas, dessa forma, estudos complementares realizados com os VANTs podem fomentar tomadas de decisões a partir de um maior detalhamento relevo (figura 13).

Figura 13. MDE gerado com dados coletados pelo SRTM.

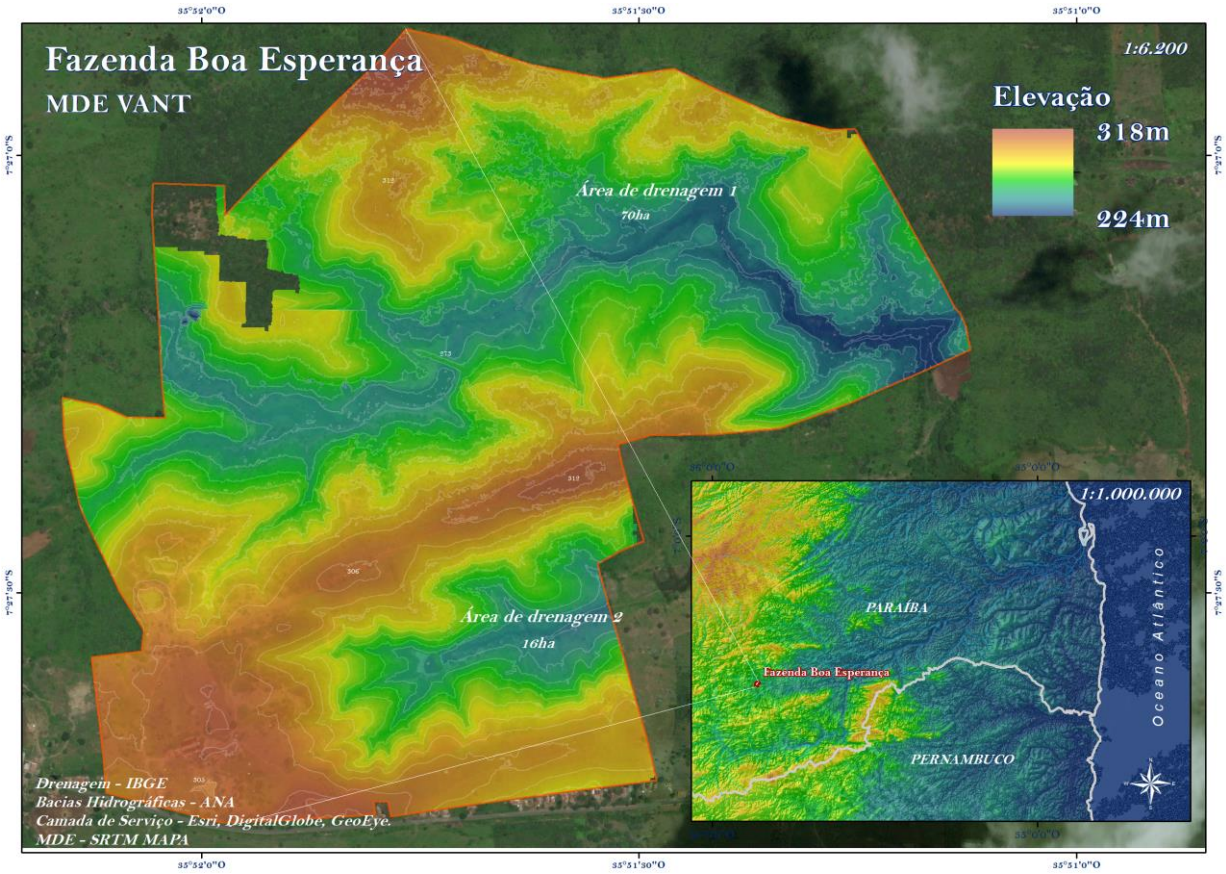


Fonte: Autor 2018.

A fim de compreendermos as particularidades da erosão fluvial, é necessário observar com precisão os pontos de acumulação hídrica. Os resultados gerados com o VANT apresentaram uma resolução 180 vezes superior ao SRTM. É possível observar claramente 2 áreas de drenagem, ambas se destacando como microbacias na escala de análise (figura 14). O detalhamento dos resultados de aerofotogrametria revela superfícies topográficas mais

complexas, que na propriedade ascendem suavemente desde as drenagens coletoras principais aos pontos de mudanças mais acentuadas no relevo.

Figura 14. MDT gerado com dados coletados pelo VANT.



Fonte: Autor, 2018.

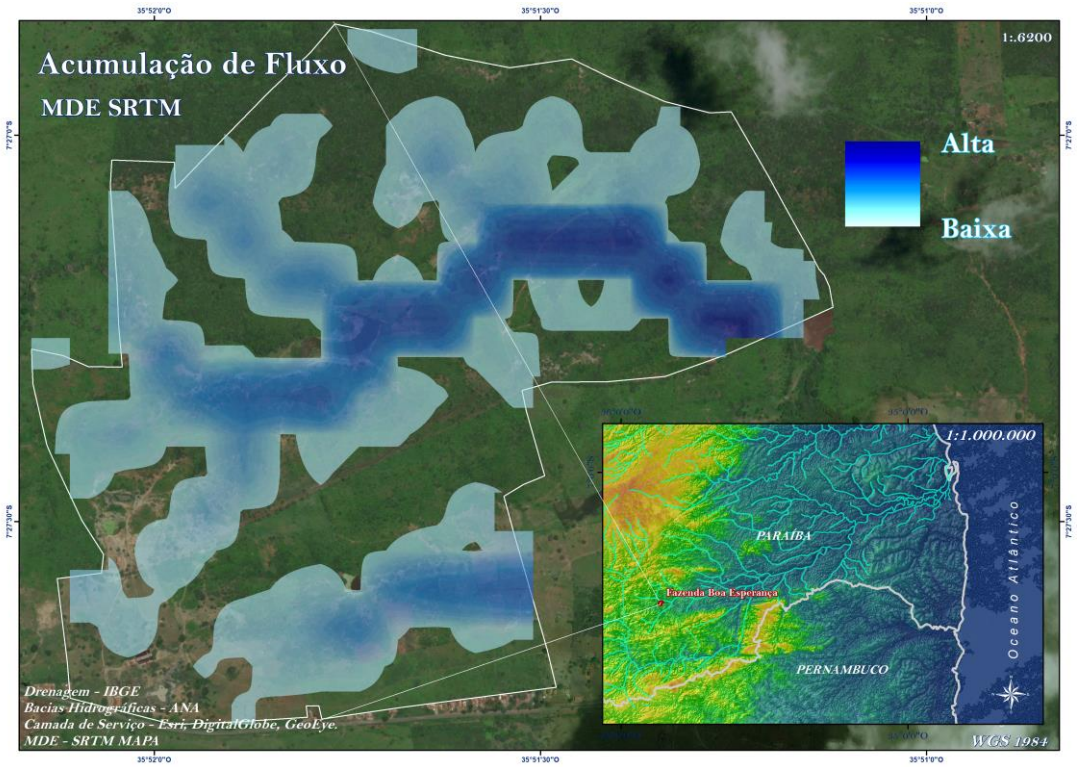
A visualização em escalas menores possibilita destacar a complexidade real da paisagem: a ocorrência de uma superfície central plana e elevada, dissecada por encostas que formam áreas de drenagem bem delineadas. Também é possível observar os locais de maior declividade, os quais tendem a estar mais suscetíveis aos processos erosivos, dificultando consequentemente a revegetação (RODRIGUES, 2013). A incorporação de matéria orgânica na superfície, e o plantio da vegetação nativa em áreas de declive elevado, favorecem o crescimento de raízes, que criam a estabilidade estrutural necessária para evitar os processos de desestruturação da paisagem (RODRIGUES, 2013; CORRÊA, 2007).

Os processos erosivos no semiárido brasileiro são determinados pelos controles climáticos, pela cobertura da terra e pelas características dos solos da região (CORRÊA et al., 2014). Avaliando o comportamento do escoamento superficial Srinivasan et al. (2003) observaram o papel da cobertura vegetal e da declividade nesses processos. Segundo os autores,

a vegetação aumenta a infiltração da precipitação e diminui a vazão do fluxo hídrico no solo, enquanto o aumento da declividade é acompanhado pelo aumento da erosão.

Como foi salientado anteriormente, a análise ambiental envolve a caracterização do relevo da microbacia e do comportamento do escoamento hídrico superficial. Segundo Corrêa (2007) o diagnóstico geomorfológico de uma área compreende, além do levantamento topográfico, a identificação da área de drenagem. Mas, ao realizarmos o processamento de análise de fluxo com os dados orbitais, obtivemos dados genéricos com informações extrapoladas (figura 15).

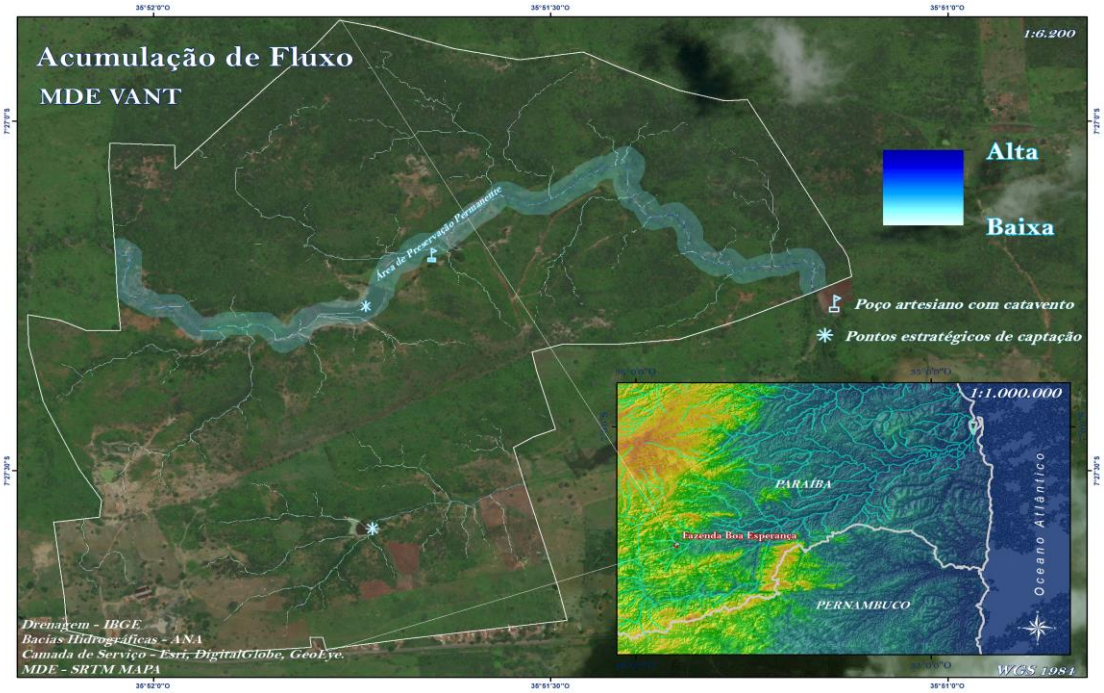
Figura 15. Modelo de acumulação hídrica superficial (SRTM).



Fonte: Autor, 2018.

A imagem é capaz de destacar de forma geral as áreas de maior acumulação, mas o processamento hidrológico com dados aéreos possibilita complementar o estudo, identificando a drenagem específica dentro da propriedade, e detalhando unidades de planejamento (microbacias) de forma a analisar com precisão as áreas mais vulneráveis a erosão (MENJERIK, 1996) (figura 16).

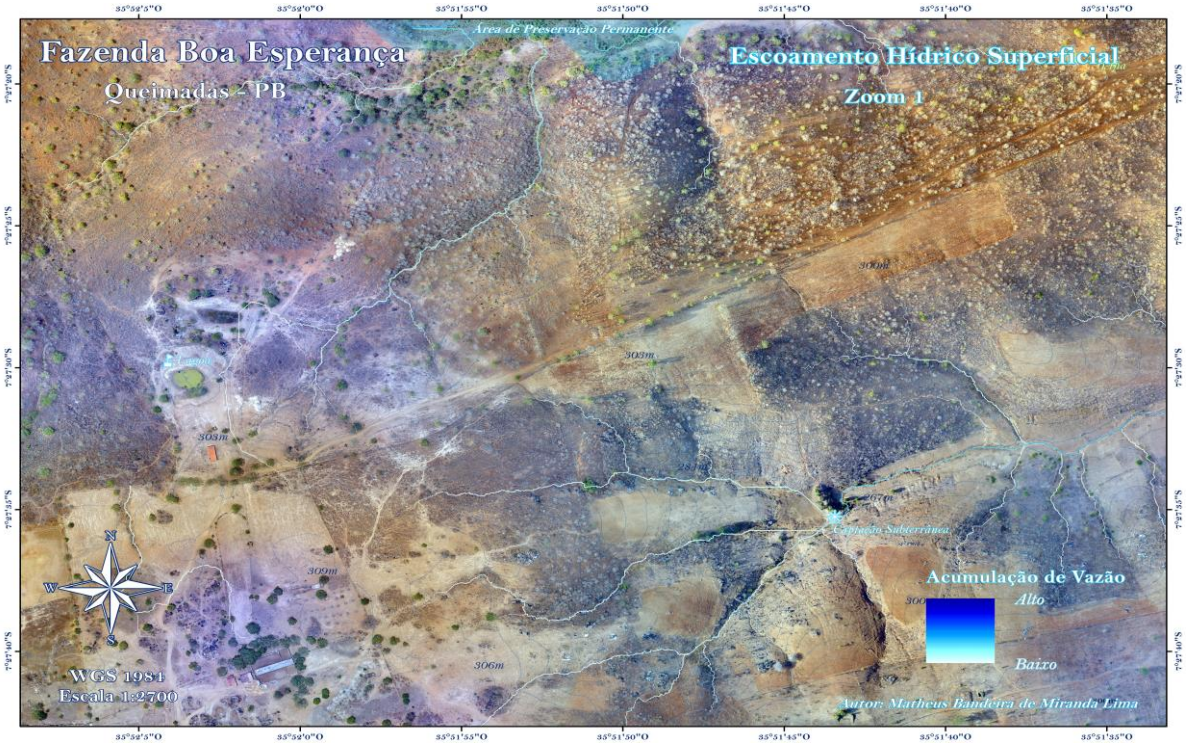
Figura 16. Modelo de escoamento hídrico superficial (VANT).



Fonte: Autor, 2018.

Sobre a superfície podemos observar o fluxo superficial hortoniano (HORTON, 1945), com a acumulação da precipitação sendo direcionada para os canais de drenagem e reservatórios de água na propriedade. Ao analisarmos os resultados gerados a partir do VANT podemos observar que a drenagem do local se contrasta com as estruturas superficiais mais comumente encontradas nas encostas semiáridas (figura 16) (CORRÊA et al., 2014). Ao contrário de um escoamento superficial difuso, pouco canalizado, a propriedade apresenta duas áreas de drenagem bem delineadas, microbacias que se destacam como unidades de planejamento na propriedade.

Figura 17. Sobreposição do escoamento superficial com a ortofoto gerada.

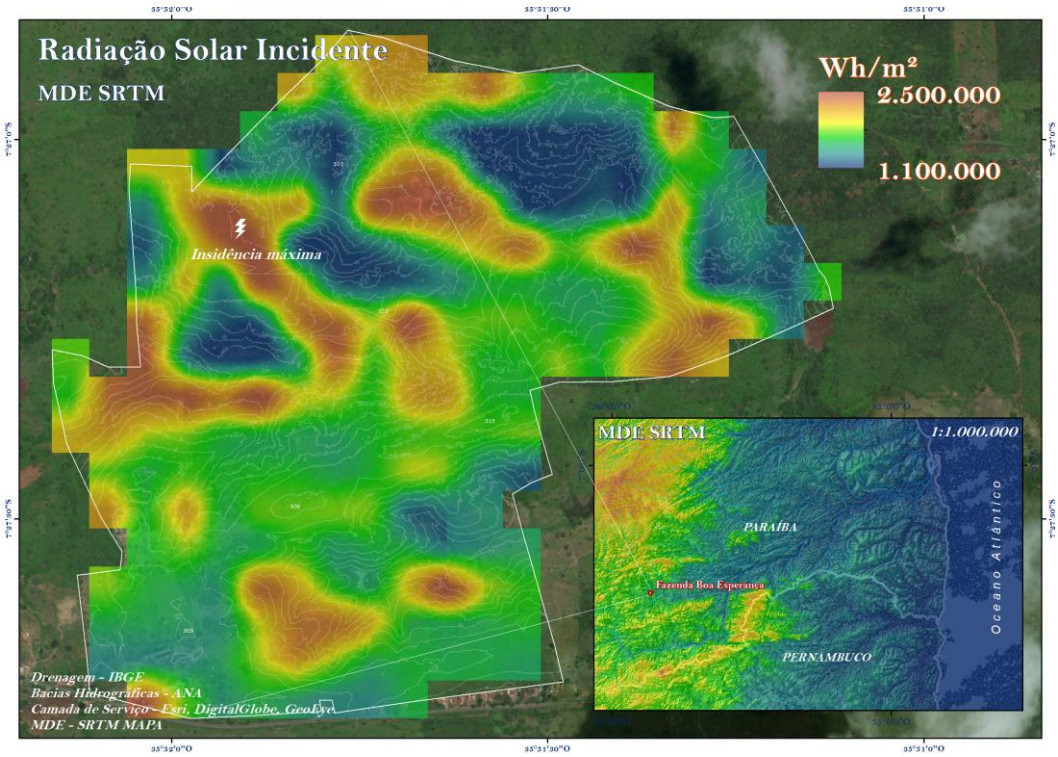


Fonte: Autor, 2017

Ao sobrepor a visualização da drenagem com as imagens coletadas (figura 17), é possível extrair informações sobre a dinâmica de acumulação do fluxo de maneira extremamente detalhada, revelando os locais de maior acumulação hídrica em solos expostos, suscetíveis aos processos erosivos. A identificação de áreas de acumulação de fluxo nessa escala de paisagem destaca áreas mais vulneráveis a erosão. Por naturalmente acumularem a precipitação, as linhas de escoamento superficial destacam os pontos de acumulação da vazão hídrica e potencialmente podem favorecer a sobrevivência e o desenvolvimento de mudas e sementes, tendo chances de fomentar o sucesso da sobrevivência de espécies alocadas.

Como estudo complementar à acumulação hídrica, o cálculo da radiação solar incidente na paisagem é outra variável fundamental para compreensão das características físicas do meio ambiente (KUMAR et al., 1997). Ao contrário dos resultados anteriores, o modelo de radiação solar gerado a partir de dados orbitais foi capaz de exemplificar de maneira mais detalhada a distribuição da energia incidente no relevo (figura 18).

Figura 18. Radiação solar incidente, SRTM.



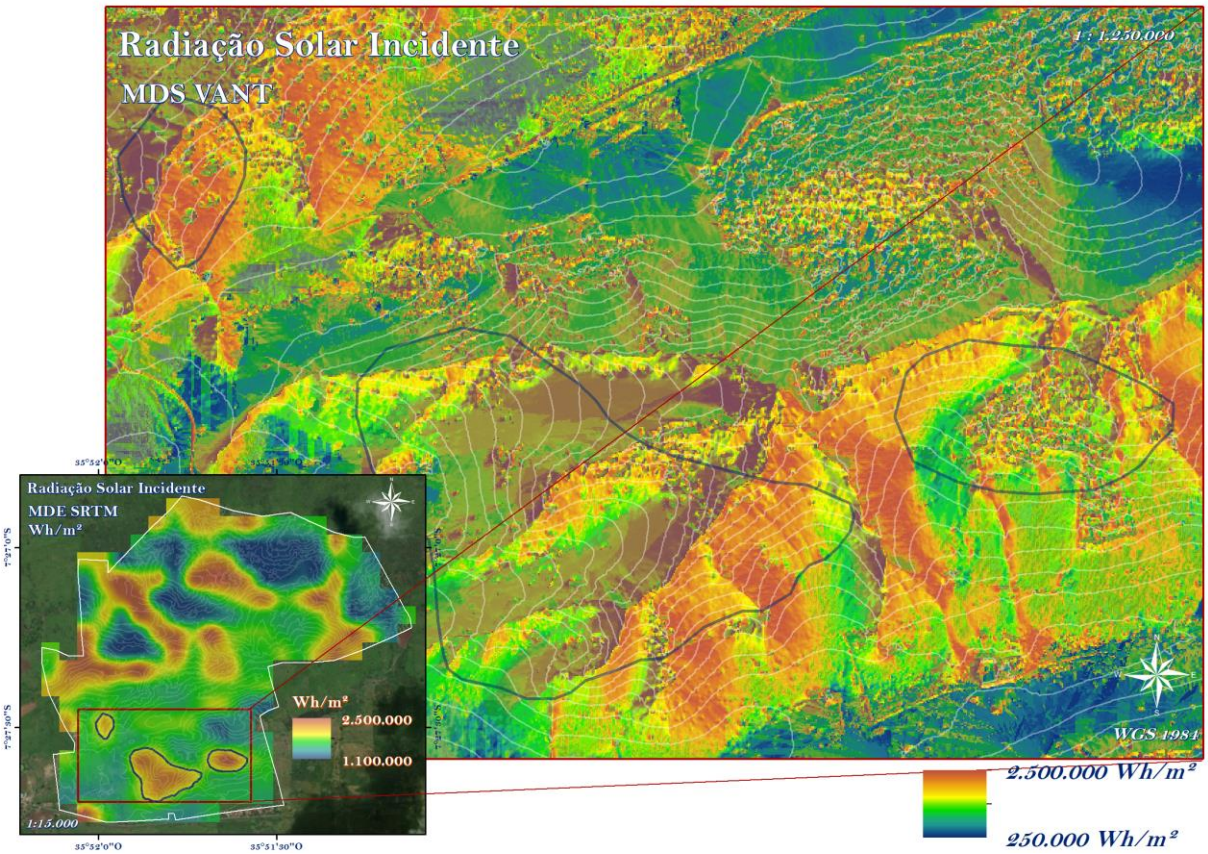
Fonte: Autor, 2018.

No hemisfério sul, a variação de inclinação da incidência solar ocorre em uma angulação setentrional. Por isso, feições de aspecto meridional tendem a receber naturalmente menores quantidades de energia ao longo do ano. Na imagem (figura 18) acima manchas azuis identificam locais menos expostos à radiação solar e manchas vermelhas identificam locais de maior exposição.

Contudo, o modelo gerado a partir dos dados SRTM ainda identifica de forma genérica a incidência solar no relevo. Para direcionar o reestabelecimento de comunidades vegetais com maior subsídio é importante analisar a incidência solar sobre todos os elementos da paisagem. Ao usarmos como base o modelo digital de superfície (MDS), em uma escala de 1m² por pixel, os resultados ultrapassam muito o detalhamento obtido com os sensores orbitais.

As informações de superfície, além dos dados de terreno, identificam cada elemento da paisagem – árvores e construções. Após o processamento, além de adquirir dados de incidência no relevo, o modelo destaca a dinâmica da radiação solar incidente em cada elemento da paisagem. A ferramenta possibilita destacar solos expostos e manchas de sombreamento do relevo e da vegetação.

Figura 19. Radiação solar incidente, VANT.



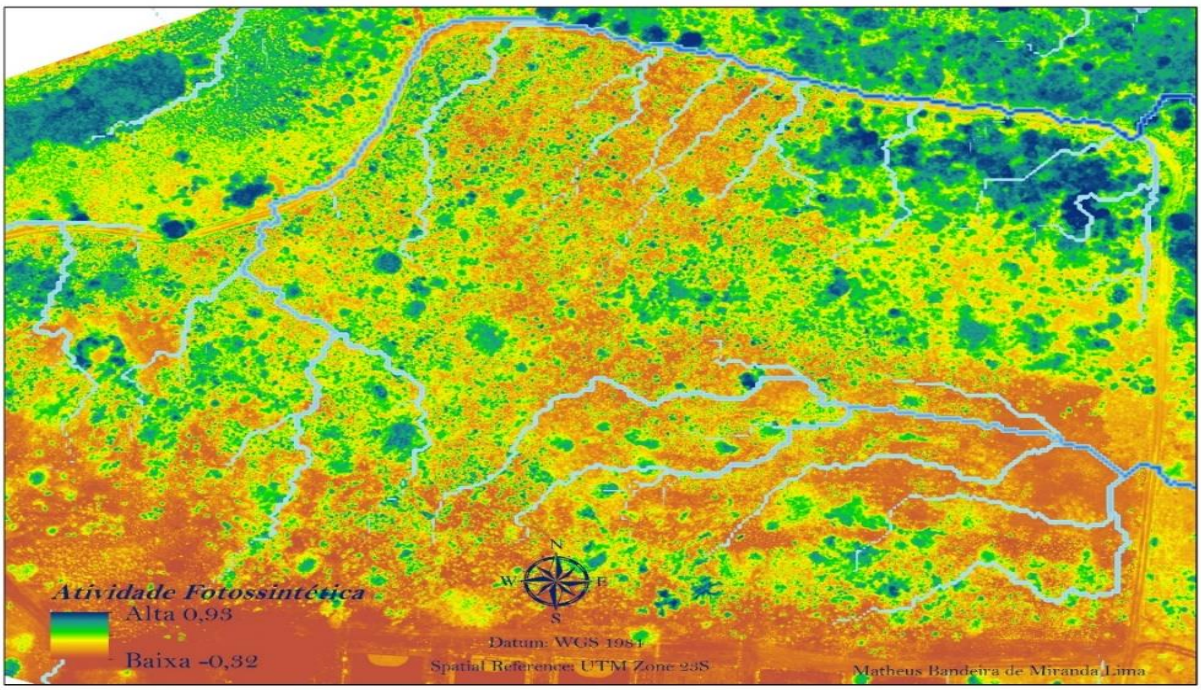
Fonte: Autor, 2017.

A ferramenta de análise solar, com os dados coletados pelo VANT (figura 19), revela a complexidade da dinâmica da radiação incidente, não somente devido as feições do terreno, mas também pela interação da energia com a vegetação.

No contexto de uma restauração florestal, os dados podem auxiliar a priorizar áreas adequadas ao plantio de espécies com metabolismo C3 ou C4, conforme as áreas de exposição no relevo. Plantas com metabolismo C3, devido à menor resistência aos altos níveis de radiação solar (ODUM, 2011), podem ser estabelecidas em áreas de menor exposição. O mesmo ocorre na identificação de áreas mais relevantes ao plantio de espécies C4. Por serem adaptadas à alta intensidade de radiação, herbáceas pioneiras podem ser estabelecidas em áreas de maior exposição.

Em um contexto diverso da nossa área de estudo principal, áreas planas de pequena extensão tendem a apresentar uma distribuição de incidência solar uniforme, o que a torna menos relevante para o diagnóstico físico da paisagem. Uma forma alternativa de ampliar o escopo da análise ambiental é a partir da utilização do NDVI. Sensores multiespectrais podem ser acoplados aos VANTs para detalhar a atividade metabólica das espécies vegetais e identificar diferentes níveis de umidade nos solos (figura 20).

Figura 20. Imagem NDVI, sobreposta a dinâmica de fluxo hídrico. Centro Olímpico – UnB.



Fonte: Autor, 2017.

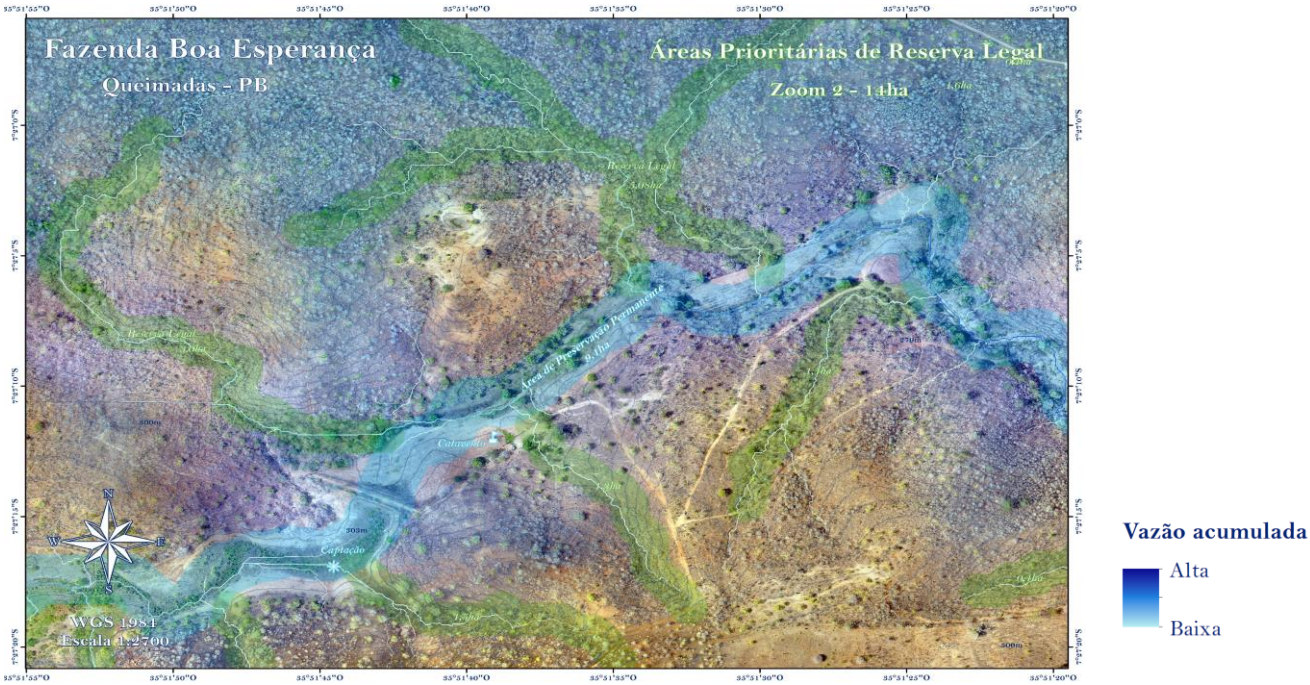
As cores amareladas indicam áreas de vegetação seca e solos expostos com maior umidade, já as cores avermelhadas e alaranjadas destacam áreas de solos expostos com menos umidade (figura 20). Cores esverdeadas e azuladas demonstram áreas com significativa atividade de fotossíntese, identificando toda vegetação saudável da paisagem. Importante ressaltar que a imagem foi coletada no final da época seca, o que favorece menores valores do índice calculado. As áreas de relevância para observar os processos erosivos estão identificadas em laranja e vermelho, locais totalmente expostos sem qualquer cobertura vegetal.

O índice também conseguiu demonstrar diferentes níveis de umidade no solo, ao compararmos as cores do solo próximo à acumulação do fluxo hídrico na parte nordeste da imagem (figura 20) podemos observar que há maior acumulação de fluxo hídrico e maiores valores do índice NDVI. Em locais onde não há acumulação contínua podemos observar menores valores do índice. A análise NDVI, aliada aos pontos de acumulação hídrica, revela os

solos mais suscetíveis à erosão, auxiliando a identificar áreas prioritárias para a implementação de ações de recuperação ecológica.

A partir da integração dos modelos gerados, é possível priorizar áreas para o reestabelecimento dos processos ecológicos. Reestabelecer a biodiversidade em áreas estratégicas deve ser uma das diretrizes principais da preservação dos recursos hídricos a longo prazo (PROVEG). A partir dos modelos gerados é possível planejar a alocação estratégica de áreas de Reserva Legal em locais de maior acumulação hídrica, com o objetivo de mitigar processos erosivos e reestabelecer a vazão de córregos e rios (figura 21).

Figura 21. Reserva Legal distribuída nas áreas de acumulação do fluxo hídrico.



Fonte: Autor, 2017.

O detalhamento das características físicas com os VANTs pode favorecer o planejamento de ações de recuperação da vegetação. Priorizando áreas estratégicas é possível identificar onde reestabelecer a infiltração do escoamento superficial (figura 21). Tais áreas tendem a acumular a precipitação naturalmente, mas é necessária a presença da interação entre a vegetação e a microbiota, de forma a desacelerar o escoamento superficial e aumentar a infiltração e a umidade do solo.

4. CONCLUSÃO

A aerofotogrametria com VANTs, aliada às ferramentas de geoprocessamento, podem realizar uma caracterização detalhada da paisagem, não alcançada com sensores orbitais convencionais. As análises do relevo e do escoamento hídrico superficial permitem a identificação de áreas susceptíveis aos processos erosivos, uma das variáveis fundamentais no diagnóstico físico de ecossistemas terrestres (CORRÊA, 2007).

Como ferramentas complementares, a análise de radiação solar e o cálculo do índice NDVI podem auxiliar a embasar as ações de restauração ambiental. Com o processamento do MDS, foi possível detalhar as áreas de incidência solar próximas à área de drenagem da propriedade, identificando locais menos expostos à evapotranspiração e áreas de maior incidência solar ao longo do ano. Já o índice NDVI permitiu visualizar áreas com baixa ou nenhuma atividade fotossintética, além de destacar solos sem cobertura vegetal suscetíveis aos processos de erosão.

Apesar de identificar as características do relevo em escalas extremamente reduzidas, os dados coletados com o VANT estão sujeitos a erros de representação topográfica. Terrenos onde há grande densidade de espécies vegetais são difíceis de serem representados através da aerofotogrametria, sendo fundamental o uso de metodologias clássicas para realizar cálculos altimétricos precisos. Dessa forma, ressaltamos que o VANT é uma ferramenta complementar na análise territorial de áreas degradadas, mas não deixa de ser uma ferramenta fundamental para embasar os estudos preliminares. Em locais com baixa densidade de formações florestais, a ferramenta se destaca pela agilidade da coleta de dados, evitando o custo de deslocamento e os gastos com profissionais que atuam coletando as informações diretamente no solo.

A identificação de áreas de acumulação de fluxo hídrico em escalas menores pode destacar locais mais vulneráveis, e centrais, do processo de erosão. Para conter a desestruturação do solo é necessário recompor a estrutura de raízes e microrganismos que sustentam a camada de pedológica superficial. Priorizando as ações de restauração em locais estratégicos é possível diminuir a vazão do escoamento de água na paisagem, recuperar a vegetação nativa para aumentar a infiltração hídrica no solo, e evitar a sedimentação de partículas, a lixiviação de minerais e os consequentes processos de assoreamento dos corpos hídricos.

O uso integrado de tecnologias como os veículos aéreos não tripulados e as ferramentas de geoprocessamento é fundamental para auxiliar o manejo dos diferentes tipos de ecossistemas, ajudando a compreender a paisagem em escalas menores, e gerando dados importantes para subsidiar ações de conservação e restauração dos recursos naturais. Como perspectiva de desenvolvimento futuro esperamos aplicar a análise em projetos de recuperação de áreas degradas, buscando quantificar a eficácia e a eficiência de reestabelecer as espécies vegetais prioritariamente nas áreas de acumulação hídrica, tanto para conter processos erosivos como para observar as taxas de sobrevivência de mudas e sementes nos processos de restauração ecológica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, K; HARTERNINK, E. **Linking soils to ecosystem services**: A global review. Department of Soil Science, University of Wisconsin-Madison, Madison, 2015.

BARRIOS E.; CUNHA, A. M. **Um protótipo de sistema especialista para VANTs**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **Elements of the nature and properties of soils**. 3ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 2009.

CAGAN, H, S. **Conservation Biology for all**. 1ª ed. Oxford: Oxford University Press, 2011. Cap. 3.

CHAPIN, S.F; MATSON, P.A; VITOUSEK, P. M. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 2ª ed. New York City: Springer press, 2011.

CARVER, S. J. **Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems**. International Journal of Geographical Information System, v. 5, n. 3, p. 321-339, 1991.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Editora ABRH, 2015.

CORRÊA et al. **Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica**. Degradação dos Solos no Brasil. Organização Antônio José Texeira Guerra & Maria do Carmo Oliveira Jorge. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 2014.

CORRÊA, R.S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado***:* Manual para revegetação. 2ª ed. Brasília: Universa, 2007.

EMBRAPA, 2018. https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/ Acesso em 4 de janeiro de 2018.

ESRI, 2015. http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm Acesso em 12 de dezembro de 2017.

FERRAZ C. et al. **O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo.** Revista TCU, Brasília, n. 133, 2015.

FU, P.; RICH. P. M. 2002. **A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry.** Computers and Electronics in Agriculture 37:25–35.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins**: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America bulletin, Boulder, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

JENSEN R. J. 2007. **Remote Sensing of the Environment:** an earth resource perspective. 2° ed. Prentice Hall series in geographic information Science.

KUMAR, L; SKIDMORE, A. K.; KNOWLES, E. **Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment**. International Journal of Geographical Information Science, v. 11, n. 5, p. 475-497, 1997.

MACE, G; MACEL, K.N; FITTER, A. **Biodiversity and ecosystem services***:* a multilayered relationship. Trends in Ecology and Evolution, v. 27, n.1, p.19-25, jan. 2012.

MEIJERINK, A. M. J.; LIESHOUT, A. M.; MOBAREKE, F. **Comparison of approaches for erosion modelling using flow accumulation with GIS**. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Associate Hydrological Sciences, v. 235, p. 437-444, 1996.

MONTEIRO, C.A.F. ***On the "desertification" in northeast Brazil and man's role in this process***. Latin American Studies, v.9, pp. 1-40, 1988.

ODUM, E.; BARRETT, G. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

ROUSE, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. 1974.

RICH, P. M.; DUBAYAH, W. A.; HETRICK; SAVING. S. C. 1994. **Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology**. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, pp. 524–529.

RODRIGUES, E. 2013. **Ecologia da Restauração**. 1° ed. Editora Planta, Londrina.

SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, C.A.G.; GALVÃO 2003. **Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro**: a experiência na bacia experimental de Sumé. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, pp. 57 – 73.