



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS



**MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO SILVA**

**INFLUÊNCIA DO RELEVO NA FRAGMENTAÇÃO E ESTRUTURA DA  
VEGETAÇÃO NA FLORESTA ATLÂNTICA, SUB-REGIÃO PERNAMBUCO**

RECIFE-PE

**2015**

**MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO SILVA**

**INFLUÊNCIA DO RELEVO NA FRAGMENTAÇÃO E ESTRUTURA DA  
VEGETAÇÃO NA FLORESTA ATLÂNTICA, SUB-REGIÃO PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

**Orientadora:**

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Carolina Borges Lins e Silva

**Coorientadores:**

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Lícia Patriota Feliciano

Prof, Dr. Milton Cezar Ribeiro

RECIFE/PE

**2015**

**MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO SILVA**

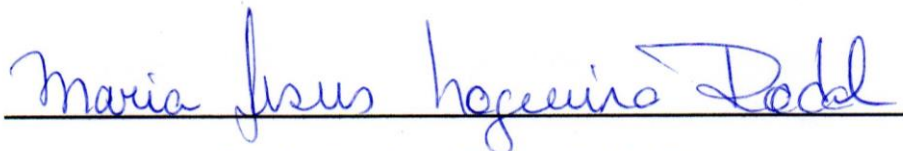
**INFLUÊNCIA DO RELEVO NA FRAGMENTAÇÃO E ESTRUTURA DA  
VEGETAÇÃO NA FLORESTA ATLÂNTICA, SUB-REGIÃO PERNAMBUCO**

Aprovada em 24/02/2015

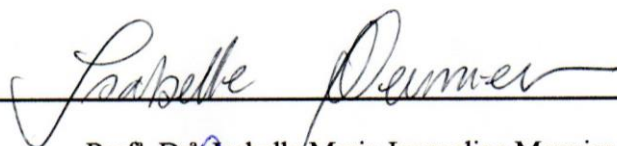
**Banca examinadora:**



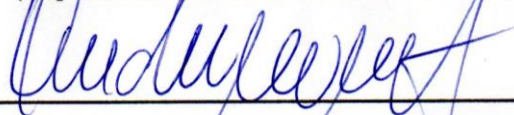
Profª. Drª. Ana Carolina Borges Lins e Silva (Orientadora)  
(Departamento de Biologia - UFRPE)



Profª. Drª. Maria Jesus Nogueira Rodal - Titular  
(Departamento Biologia - UFRPE)



Profª. Drª. Isabelle Maria Jacqueline Meunier - Titular  
(Departamento Ciência Florestal - UFRPE)



Prof. Dr. André Mauricio Melo Santos - Suplente  
(UFPE)

*O aprendizado é aquilo que fica depois que o esquecimento faz o seu trabalho –*  
Rubem Alves

## **AGRADECIMENTOS**

Essa fase de 2013/2015 foi um período de muitas transformações e aprendizados no campo profissional, materializados nesse formato de dissertação, e pessoal através da convivência que os amigos e colegas me proporcionaram.

Assim gostaria de agradecer:

À minha orientadora Ana Carolina Borges Lins e Silva que com toda sua paciência e dedicação me ajudou a concretizar este trabalho;

Aos meus coorientadores Ana Lícia Patriota Feliciano e Milton Cezar Riberio pela contribuição fundamental nos trabalhos de campo e formulação das análises;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRPE;

Aos Professores André Maurício, Isabelle Meunier e Maria Rodal por todas as contribuições durante a construção do projeto e ajustes nas bancas de avaliação;

A todos do Laboratório de Ecologia Vegetal da UFRPE (LEVE), em especial a Pedro Sena e Manuela Bandeira pela ajuda nos trabalhos de campo e amizade;

À Usina São José e Usina Trapiche por toda a infraestrutura disponibilizada nos trabalhos de campo;

Aos parataxonomistas Marcos Chagas (Marquinhos) e Lenilson Barboza (Seu Lenilson) pela contribuição fundamental e constante na fase de campo da dissertação;

Ao professor Thiago Gonçalves, que mesmo chegando na fase final da dissertação, me “alfabetizou” na linguagem de programação R;

Ao amigo Diego Marcelino pelas conversas e evolução profissional conjunta desde a graduação em Engenharia Florestal;

À minha amiga e parceira Ana Santos pela sua contribuição, paciência e carinho durante a construção da dissertação;

À minha família por todo o suporte desde o início da minha vida acadêmica.

SILVA, MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO. **Influência do relevo na fragmentação e estrutura da vegetação na Floresta Atlântica, Sub-região Pernambuco.** Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

## RESUMO

As condições do relevo, tais como altitude, declividade e curvatura vertical do terreno, podem influenciar a distribuição espacial da cobertura florestal, bem como a fisionomia e estrutura da vegetação de Floresta Atlântica. Essa é uma área prioritária para a conservação, pois possui uma crescente perda de habitat e elevado número de endemismos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição do relevo sobre a distribuição espacial de remanescentes florestais e sobre a estrutura da assembleia arbórea em paisagens de Floresta Atlântica. O trabalho foi conduzido em duas paisagens, cobrindo 183 e 116 km<sup>2</sup>, ambas na Sub-região Biogeográfica Pernambuco, uma ao norte e outra ao sul do estado de Pernambuco, Brasil. As áreas estão sobre geologias distintas, uma predominantemente sedimentar e outra cristalina/ metamórfica, respectivamente. Para as análises espaciais foram utilizadas imagens de satélite com sensor de alta resolução processadas e vetorizadas, e modelos digitais do terreno disponibilizados pelo projeto TOPODATA. As informações foram integradas e analisadas em um sistema de informações geográficas. A vegetação foi amostrada em 15 fragmentos, por meio de 25 pontos quadrantes em cada, obtendo-se variáveis de fisionomia e diversidade. As paisagens estudadas obtiveram cobertura vegetal >30%, com a maioria dos fragmentos menor que 50 ha. O relevo das paisagens possui muitas áreas planas (<10° de declividade), porém as áreas ocupadas por remanescentes florestais são predominantemente inclinadas (>10°). A curvatura vertical afetou significativamente variáveis de fisionomia (altura média e área basimétrica média) e diversidade (riqueza e índice de Simpson) do componente arbóreo. Contudo, a declividade influenciou significativamente apenas variáveis de fisionomia.

**Palavras-chave:** Abertura de Dossel, Floresta tropical, Geomorfometria, Geoprocessamento, Pequenos Fragmentos

SILVA, MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO. **Relief influence on fragmentation and vegetation structure in the Atlantic Forest, Sub-region Pernambuco.** Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

## **ABSTRACT**

Relief conditions such as altitude, slope and vertical curvature can influence the spatial distribution of forest cover, as well as the physiognomy and structure of Atlantic forest vegetation. The biome is a priority area for conservation due to its increasing habitat loss and high number of endemic species. The objective of this study was to evaluate the contribution of relief on the spatial distribution of forest remnants and on the structure of tree assemblage in Atlantic Forest landscapes. The work was conducted in two landscapes, covering 183 and 116 km<sup>2</sup>, both in the Pernambuco Biogeographic Sub-region, one in the north and the other in the south of the state of Pernambuco, Brazil. The areas are located on different geological conditions, predominantly sedimentary and crystalline/ metamorphic, respectively. For spatial analysis, satellite images with high resolution sensor, processed and vectorised, and digital terrain models provided by TOPODATA project were used. Datasets were integrated and analyzed in a geographic information system. Plant assemblages were sampled from 15 fragments on 25 point-centered quadrats in each, for calculating variables of physiognomy and diversity. The studied landscapes showed vegetation cover >30%, most of the fragments smaller than 50 ha. The relief in both landscapes has many flat areas (<10 ° slope), but the areas covered by forests are predominantly steep (>10 °). Vertical curvature significantly affected physiognomic variables (average height and basal area) and diversity (richness and Simpson index) of the tree component. However, the slope significantly influenced only physiognomy variables.

**Keywords:** Tropical Forest, Geomorphometry, Canopy Opening, Small Fragments

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil, sobre geologia predominantemente sedimentar (Paisagem Norte). .....	28
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil, sobre geologia predominantemente cristalina (Paisagem Sul). .....	28
Figura 3. Mapa geológico da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil, com geologia predominantemente sedimentar (Paisagem Norte, PE). .....	29
Figura 4. Mapa geológico da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil, com geologia predominantemente cristalina/ metamórfica (Paisagem Sul). .....	29
Figura 5. Mapas dos modelos digitais do terreno (MDT) das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	31
Figura 6. Mapas dos modelos sombreados do terreno (hillshade) das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	32
Figura 7. Mapas de uso do solo das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. Em verde, os remanescentes florestais. ....	33
Figura 8. Porcentagens relativas das classes de uso do solo para as paisagens sul e norte, em Pernambuco, Brasil. ....	34
Figura 9. Desenho esquemático dos tipos de fragmentos mapeados e classificados por curvatura vertical do terreno, em duas paisagens de Floresta Atlântica sobre geologias distintas, Pernambuco, Brasil. ....	35
Figura 10. Classes de declividade para toda a paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	36
Figura 11. Classes de declividade apenas das áreas com remanescentes florestais. Paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	37
Figura 12. Classes de curvatura vertical para toda a paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	38
Figura 13. Classes de curvatura vertical apenas das áreas com remanescentes florestais. Paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. ....	38
Figura 14. Mapa de localização da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil (Paisagem Norte). ....	47
Figura 15. Mapa de localização da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil (Paisagem Sul). ....	47
Figura 16. Fragmentos selecionados de acordo com a predominância da curvatura, cinco convexos e cinco côncavos na paisagem norte (A), cinco convexos na	



paisagem sul (B) em Pernambuco, Brasil. Setas vermelhas indicam os fragmentos convexos, setas azuis indicam fragmentos côncavos. ....49

Figura 17. Mapa com a localização dos pontos de amostragem georreferenciados em um dos fragmentos analisados, em Pernambuco, Brasil. ....50

Figura 18. Fotografia Hemisférica processada no software GLA 2.0, obtida para um ponto quadrante em fragmento estudado na paisagem Norte, Pernambuco, Brasil. 51

Figura 19. Gráficos gerados a partir dos modelos significativos para a Curvatura Vertical (variável independente) e variáveis dependentes de fisionomia e diversidade, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.....55

Figura 20. Gráficos gerados a partir dos modelos significativos para declividade (variável independente) e variáveis dependentes de fisionomia e diversidade, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.....56

Figura 21. Fragmentos florestais classificados pela predominância de áreas de curvatura vertical. (A) Agrupamento de fragmentos florestais por análise de CLUSTER sobre o componente arbóreo e (B) sobreposição dos grupos (curvatura vertical) obtidos na análise de cluster sobre o diagrama de ordenação obtido a partir do MDS. Setas para cima de cor preta representam os fragmentos convexos e as setas para baixo de cor branca representam os fragmentos côncavos. Linhas pontilhadas indicam diferenças entre grupos determinada pelo SIMPROF ( $P < 0,05$ ).  
.....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Porcentagens esperadas e observadas de remanescentes florestais em duas paisagens sobre geologias distintas, em função das seis classes de declividade, e teste de independência de $\chi^2$ . *Classes de declividade que sofreram diferença significativa ( $p < 0,05$ ).....	36
Tabela 2. Porcentagens esperadas e observadas de remanescentes florestais em duas paisagens, em função das cinco classes de curvatura vertical, e teste de independência de $\chi^2$ . *Classes de curvatura que sofreram diferença significativa ( $p < 0,05$ ). .....	37
Tabela 3. Valores obtidos para cada um dos estimadores utilizados no cálculo da suficiência amostral da variável distância ponto-planta, em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.....	53
Tabela 4. Variáveis e parâmetros das regressões com variável independente curvatura vertical, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil. (*) Indica uma relação significativa entre as variáveis dependente e independente ( $p < 0,05$ ). .....	54
Tabela 5. Modelos e parâmetros das regressões com variável independente declividade. (*) Indica uma relação significativa entre as variáveis dependente e independente ( $p < 0,05$ ), para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.....	56

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Lista florística das espécies encontradas em fragmentos côncavos/convexos para as duas paisagens estudadas em Pernambuco-Brasil. Em que: PN - Paisagem Norte; PS - Paisagem Sul; CC - Fragmentos Côncavos; CV - Fragmentos Convexos. ....	61
---	----

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Ecologia de Paisagens .....	15
2.2 A variável relevo na Ecologia de Paisagens.....	17
2.3 A diversidade e fragmentação da Floresta Atlântica: cenário fértil para Ecologia de Paisagens .....	19
2.4 Geologia e padrões de relevo nas paisagens: Pernambuco como estudo de caso .....	21
2.5 Relações entre a Topografia, hidrologia e vegetação .....	22
<b>CAPÍTULO 1- FRAGMENTOS DE FLORESTA ATLÂNTICA EM DUAS PAISAGENS SOBRE GEOLOGIAS DISTINTAS E SEUS PADRÕES DE GEOMORFOMETRIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 RESUMO .....	24
3.2 INTRODUÇÃO .....	25
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.3.1 Área de estudo.....	27
3.3.2 Imagens e mapeamentos .....	30
3.3.3 Fonte e tratamento das informações de análise de estrutura da paisagem .....	30
3.3.4 Fonte e tratamento das informações geomorfométricas.....	30
3.3.5 Análise dos dados .....	32
3.4 RESULTADOS .....	33
3.4.1 Distribuição espacial dos remanescentes florestais em duas paisagens de Floresta Atlântica na Sub-região Biogeográfica Pernambuco .....	33
3.4.2 Fragmentos de Floresta Atlântica em duas paisagens sobre geologias distintas e seus padrões de geomorfometria .....	34
3.5 DISCUSSÃO .....	39
3.6 CONCLUSÃO .....	41
<b>CAPÍTULO 2- GEOMORFOMETRIA DO TERRENO, ESTRUTURA E DIVERSIDADE DA ASSEMBLEIA ARBÓREA EM PAISAGENS FRAGMENTADAS DA FLORESTA ATLÂNTICA.....</b>	<b>42</b>
4.1 RESUMO .....	42
4.2 INTRODUÇÃO .....	43
4.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	46
4.3.1 Área de estudo.....	46
4.3.2 Imagens, mapeamentos e informações geomorfométricas .....	47
4.3.3 Fonte e tratamento das informações biológicas .....	48
4.3.4 Análise dos dados .....	52
4.4 RESULTADOS .....	53
4.5 DISCUSSÃO .....	58
4.6 CONCLUSÃO .....	60
<b>REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

As condições do relevo, tais como altitude e declividade do terreno, podem influenciar a riqueza, composição e distribuição espacial da cobertura florestal (DORNER; LERTZMAN; FALL, 2008; OLIVEIRA-FILHO et al., 1994), resultando em diferenças na fisionomia e estrutura dos habitats presentes em florestas. O relevo influencia de forma direta a vegetação, pois proporciona sítios com características próprias que favorecem distintas dinâmicas de sucessão. Porém, algumas influências são indiretas, já que a ocupação humana pode ser um fator de forte influência sobre a distribuição da vegetação, sendo esta particularmente condicionada também pelo relevo (SILVA et al., 2007).

As unidades geológicas possuem uma alta relação com variáveis de relevo, especialmente a curvatura vertical, que está associada a processos de morfogênese, uma vez que atua diretamente nos processos de migração e acúmulo de matéria, principalmente água. Essa variável caracteriza o terreno em côncavo ou convexo. Entretanto, é definida como a segunda variável da altitude, ou a variação da declividade ao longo de uma distância (VALERIANO, 2008).

O conceito de paisagem remete à ideia da heterogeneidade espacial para pelo menos um observador em uma escala específica (METZGER, 2001). Portanto, detectar e quantificar os padrões da heterogeneidade espacial de paisagens é uma questão que varia de acordo com a escala de análise (O'NEILL et al., 1988). Dentro desse contexto, na escala da fragmentação florestal, a topografia pode ser uma variável primordial (RIERA; MAGNUSON, 1998).

Os estudos de paisagens fragmentadas da Floresta Atlântica abordam a influência da forma, tamanho, conectividade, idade dos fragmentos, bem como questões relacionadas com o relevo da paisagem e os débitos de extinção entre a destruição dos habitat e seus efeitos (ALVES-ARAÚJO et al., 2008; BOSCOLO; METZGER, 2009; RANTA et al., 1998; RIBEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2007). O bioma é uma área prioritária para a conservação, pois possui altos níveis de perda de habitat e um elevado número de endemismos (MITTERMEIER et al., 2011).

A Ecologia de Paisagens permite uma integração da heterogeneidade espacial e do conceito de escala na análise ecológica (METZGER, 2001), facilitando a compreensão da relação entre padrões e processos ecológicos. Paisagens são compostas por três elementos básicos: mancha, corredor e matriz. Esses elementos

podem apresentar padrões distintos de composição e configuração, que possibilitam a descrição e comparação de paisagens com diferentes estruturas (LEITAO et al., 2006). Tais padrões muitas vezes exigem descrições quantificáveis, pois, na investigação de fenômenos ecológicos em grandes escalas, é fundamental testar relações ou fazer previsões (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). Dessa maneira, os elementos da paisagem podem ser compreendidos de forma mais abrangente, considerando seu contexto e as relações entre os elementos que a compõem, além das suas características espaciais como tamanho, forma e distribuição (LEITAO et al., 2006).

O estado de Pernambuco está inserido em uma das Sub-regiões Biogeográficas da Floresta Atlântica propostos por Silva e Casteleti (2005). Segundo essa classificação, a sub-região inclui todas as florestas entre os estados do Rio Grande do Norte e Alagoas e cobre em torno de 39.000 km<sup>2</sup> de domínio de Floresta Atlântica, da qual apenas 11,5 % estão preservados (RIBEIRO et al., 2009). Entender o padrão espacial resultante nas paisagens com alta fragmentação e a influência deste padrão na diversidade florestal é questão crucial para a conservação da Floresta Atlântica. Nas paisagens fragmentadas, a posição dos ecossistemas, os elementos da paisagem e o uso da terra se relacionam diretamente com a fisionomia, estrutura e diversidade encontradas (BASTIAN et al., 2014).

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a contribuição do relevo em diferentes geologias sobre a distribuição espacial de remanescentes florestais e sobre a estrutura da assembleia arbórea remanescente em paisagens fragmentadas da Floresta Atlântica. As hipóteses testadas foram:

- A fragmentação da Floresta Atlântica não foi ao acaso, ou seja, a distribuição espacial dos remanescentes florestais não ocorre de forma aleatória nas paisagens estudadas;
- O relevo explica a fragmentação. Nesse caso, haveria mais remanescentes florestais em relevo mais íngreme do que em relevo suave, independentemente da morfometria predominante no terreno (côncavo ou convexo);
- Geologias distintas em diferentes paisagens geram padrões geomorfométricos distintos (formas côncavas ou convexas), sobre os quais estão os remanescentes florestais;

- Se a floresta restou em áreas mais íngremes, e estas áreas podem ser côncavas ou convexas, a geomorfometria predominante explica a estrutura e arquitetura/fisionomia florestal remanescente.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ecologia de Paisagens

A palavra paisagem começou a ser utilizada cientificamente no século XIX pelo geobotânico Alexander von Humboldt. O surgimento dessa ciência teve uma origem dupla, com linhas de análise de ecologia humana de paisagens e ecologia espacial de paisagens. Essas abordagens surgiram devido às necessidades de compreensão do espaço territorial europeu (1970), e para a criação de reservas naturais utilizando os conceitos de biogeografia (1980) (METZGER, 2001).

A ecologia de paisagens é uma área do conhecimento relativamente nova dentro da Ecologia, que vem promovendo mudanças nos paradigmas vigentes nos estudos sobre fragmentação e conservação. Por esta abordagem, permite-se a integração da heterogeneidade espacial e do conceito de escala na análise ecológica (METZGER, 2001), facilitando a compreensão da relação entre padrões espaciais e estrutura e processos ecológicos.

Uma série de pesquisas em ecologia de paisagens têm relacionado padrões de paisagem aos conjuntos de variáveis que incluem os fatores biofísicos e socioeconômicos (TURNER, 2005). Um dos temas centrais da área trata das mudanças de uso da terra e cobertura do solo, na tentativa de compreender as relações entre os processos ecológicos e mudanças nos padrões espaço-temporais de paisagens, seus fatores condicionantes e impactos antrópicos (WU, 2012). Entretanto, os temas relacionados à conservação, gestão da paisagem e planejamento vêm recebendo destaque nas pesquisas recentes de ecologia de paisagens (HELFENSTEIN et al., 2014).

As paisagens são compostas por três elementos básicos: mancha, corredor e matriz. As manchas são áreas homogêneas (numa determinada escala) de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e têm extensões espaciais reduzidas e não lineares. Os corredores têm as mesmas características que as manchas, porém tem uma extensão linear. A matriz é a unidade dominante da paisagem, ou seja, unidade com maior recobrimento espacial, ou por ter um maior grau de conexão de sua área (i.e., um menor grau de fragmentação). Numa segunda definição, particularmente usada em estudos de fragmentação, a matriz é entendida como o conjunto de unidades de não-habitat para uma determinada comunidade ou espécie estudada (METZGER, 2001).

Esses elementos podem apresentar padrões distintos de composição e configuração, possibilitando a descrição e comparação de paisagens com diferentes estruturas (LEITAO et al., 2006). Tais padrões muitas vezes exigem descrições quantificáveis, pois, na investigação de fenômenos ecológicos em grandes escalas, é fundamental testar relações ou fazer previsões (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998). Desta maneira, os elementos da paisagem podem ser compreendidos de forma mais abrangente, considerando seu contexto e as relações entre os elementos que a compõe, além das suas características espaciais como tamanho, forma e distribuição (LEITAO et al., 2006).

As métricas da paisagem são funções matemáticas desenvolvidas para medir a variação de aspectos da estrutura da paisagem e suas relações aos processos ecológicos (HARGIS; BISSONETTE; DAVID, 1998), porém sua utilização depende de aplicativos específicos que facilitem as análises e forneçam maior precisão (HIRUMA; RICCOMINI, 1999). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são softwares de grande importância para análises espaciais, pois atendem a esta necessidade e permitem a avaliação integrada dessas informações (BOHRER et al., 2001).

O conceito de paisagem remete à ideia da heterogeneidade espacial para pelo menos um observador em uma escala específica (METZGER, 2001). A heterogeneidade espacial das paisagens é um fator que, por exemplo, pode estar relacionado com fenômenos ecológicos, tais como a propagação de perturbações ou o movimento de organismos (ZOLLNER; LIMA, 1999), com estrutura da comunidade (JARVIS, 2005), dinâmica de populações (BOSCOLO, 2007), serviços ecossistêmicos (BASTIAN et al., 2014).

Porém, detectar e quantificar os padrões da heterogeneidade espacial de paisagens é uma questão que varia de acordo com a escala de análise (O'NEILL et al., 1988). Por exemplo, em uma escala de alto detalhamento, a heterogeneidade espacial da vegetação pode ser relacionada a microambientes, dispersão de espécies, ou processos de concorrência. Numa escala média, ela pode estar relacionada com perturbações, tais como ventos ou incêndios. Em uma escala de menor detalhe, o relevo e o clima podem ser restrições primordiais (RIERA et al., 1998).



## 2.2 A variável relevo na Ecologia de Paisagens

Para escalas mais grosseiras, IBGE (2012) criou uma classificação fitogeográfica que define os tipos vegetacionais brasileiros quanto à sua fisionomia e características do ambiente. Por esta classificação, Floresta Ombrófila Densa é um tipo vegetacional relacionado a elevadas temperaturas e altas precipitações, sendo subdividido em cinco formações ordenadas segundo hierarquias de relevo (aluvial, terras baixas, submontana, montana e alto-montana). Essa classificação demonstra, em uma escala menos refinada, a influência do relevo na distribuição das fitofisionomias no Brasil.

No semiárido brasileiro, é possível verificar a altitude como um fator de influência determinante na fisionomia, composição florística e riqueza de espécies, como evidenciado nos "brejos de altitude". Nesses ambientes, verifica-se que a vegetação presente em altitudes diferentes pode apresentar valores distintos de abundância e riqueza, aumentando com o aumento da altitude. Essas diferenças são resultantes do condicionamento que o relevo provoca nas taxas de precipitação, umidade relativa, temperatura da área e condições do solo (FERRAZ et al., 1998).

O conceito de relevo está relacionado com as formas de superfície da Terra, ou seja, é utilizado para escalas de granulado mais grosseiro. Já em escalas mais finas, o conjunto de técnicas e métodos para descrever superfícies e estudos dos acidentes geográficos é a topografia. Portanto, a topografia é o estudo e descrição do relevo em grande escala.

Em escalas mais refinadas, estudos indicam que as condições topográficas, tais como altitude e declividade do terreno, podem influenciar a riqueza, composição e distribuição espacial da cobertura florestal (DORNER; LERTZMAN; FALL, 2008; OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). Variações na topografia, especialmente no que diz respeito à declividade, podem resultar em diferenças na fisionomia e estrutura da assembleia arbórea nos habitats presentes em florestas (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). É importante considerar também as diferenças nas variáveis edáficas associadas, tais como umidade e fertilidade do solo (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). A declividade também é uma variável preditora de recuperação da floresta, nas quais altas declividades estão associadas a áreas com grande tendência a ser reflorestada (CRK et al., 2009). A topografia também afeta os serviços ecossistêmicos, uma vez que, em escalas mais finas, quantificações de biomassa

estão correlacionadas negativamente com a declividade. De maneira que, em regiões sobre altas declividades, tende-se a ter menos biomassa (SATTLER et al., 2014).

A topografia desempenha um papel crucial em muitos processos ecológicos sendo necessários métodos e técnicas que levem em conta avaliações nas três dimensões. Assim, o modelo mancha-corredor-matriz convencional pode não ser suficiente nos casos em que características topográficas e morfológicas da superfície da terra precisem ser levadas em conta (HOECHSTETTER et al., 2008). Modificações climáticas e antrópicas alteram a composição da comunidade de plantas, o que acaba afetando os *feedbacks* dos processos geomorfológicos, e eventualmente modificando os padrões de drenagem e os padrões espaciais da comunidade de plantas existentes na paisagem (WONDZELL; CUNNINGHAM; BACHELET, 1996). Dessa maneira, a topografia desempenha um papel fundamental na estruturação do mosaico vegetacional, tornando-se possível separar efeitos da topografia de efeitos outros efeitos naturais e antrópicos. Isso possibilita uma compreensão mais completa dos padrões estruturais da paisagem (DORNER; LERTZMAN; FALL, 2002).

O relevo influencia de forma direta a vegetação, pois proporciona sítios com características próprias que favorecem a dinâmica de sucessão. Porém, algumas influências são indiretas, já que a ocupação humana pode ser um fator de forte influência sobre a distribuição da vegetação, sendo esta particularmente condicionada também pelo relevo (SILVA et al., 2007). Este tipo de influência foi observado por Ranta et al., (1998) e Trindade; Lins-e-Silva; Silva (2008) em estudos realizados na Zona da Mata do estado de Pernambuco-Brasil, revelando que a maioria dos fragmentos florestais está localizada nos topos das colinas, circundados por cana de açúcar situadas nas regiões mais baixas e de menor inclinação. Nas paisagens de Floresta Atlântica, as áreas mais declivosas são cobertas, preferencialmente, por florestas e vegetação secundária (capoeiras) (SILVA et al., 2008, 2007). Essa situação se inverte nas áreas de menor declividade, que passaram a ser ocupadas por classes indicativas de utilização do solo (pasto, eucalipto e solo exposto), confirmando assim uma preferência de utilização de terrenos mais planos para práticas agrícolas (MELLO, 2009).

### 2.3 A diversidade e fragmentação da Floresta Atlântica: cenário fértil para Ecologia de Paisagens

Diversos estudos em Ecologia de Paisagens vêm buscando compreender a influência do relevo sobre a Mata Atlântica brasileira remanescente. Esse bioma que já cobriu uma área de aproximadamente 1.300.000 km<sup>2</sup> ao longo da costa leste brasileira está entre as florestas tropicais mais ameaçadas do mundo, com sua maior extensão coincidindo com as áreas mais povoadas do país (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2013; GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005; RIBEIRO et al., 2009). A Floresta Atlântica é uma área prioritária para a conservação, pois possui uma crescente perda de habitat (30% ou menos remanescente da extensão original) e um elevado número de endemismos de plantas (mais de 1500 espécies endêmicas), o que a torna uma área chave para conservação ou *hotspot* (MITTERMEIER et al., 2005; MYERS et al., 2000). Por ser um *hotspot* (MITTERMEIER et al., 2005), é importante conhecer a diversidade de espécies arbóreas presentes nesses remanescentes para que se estabeleçam estratégias de conservação ou recuperação (MELLO, 2009).

A forma mais comum e direta de medir a diversidade de espécies de determinada área é usar a riqueza de espécies, que consiste simplesmente no número de espécies que existe na comunidade de interesse (WILSEY; MARTIN; POLLEY, 2005). Outra forma de mensurar a diversidade é o uso dos índices de diversidade, cujas fórmulas combinam dois atributos de uma comunidade biológica: o número (riqueza) de espécies e sua equabilidade, atributo que indica quão similar as espécies estão representadas na comunidade. Caso todas as espécies tenham a mesma representatividade, a equabilidade será máxima (MAGURRAN, 2011). Os índices de diversidade mais utilizados atualmente são o de Shannon (H') e o de Simpson (D). O índice de Simpson leva em consideração a regularidade das abundâncias das espécies. Já o índice de Shannon combina o número de espécies existentes na área e a densidade relativa da espécie em um único valor (MAGURRAN, 2011).

Em uma paisagem fragmentada, é importante aferir a diversidade biológica e a estrutura florestal, e relacioná-las aos padrões de paisagem (PARDINI et al.,

2005). Por exemplo, o tamanho e conectividade dos remanescentes florestais, podem explicar processos e serviços ecossistêmicos, características funcionais e limiares ecológicos (BASTIAN et al., 2014; UEZU; METZGER; VIELLIARD, 2005).

O Estado de Pernambuco está inserido em uma das Sub-regiões Biogeográficas da Floresta Atlântica propostos por Silva e Casteleti, (2005). Segundo essa classificação, a sub-região inclui todas as florestas entre os estados do Rio Grande do Norte e Alagoas, com área de domínio de Floresta Atlântica em torno de 39.000 km<sup>2</sup>, na qual apenas 11,5 % estão preservados, principalmente em pequenos fragmentos (RIBEIRO et al., 2009).

A conservação de pequenos fragmentos é necessária para preservar efetivamente a diversidade vegetal da região Neotropical, que vem sendo fortemente desmatada (ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2009). Evidências indicam que o valor de pequenos fragmentos para a conservação da biodiversidade em paisagens modificadas pelo ser humano é maior em paisagens fragmentadas recentemente, com maior cobertura florestal remanescente, e incorporado em uma matriz de paisagem heterogênea (HERNÁNDEZ-RUEDAS et al., 2014).

De acordo com Fahrig, (2003) quando o que resta do ecossistema florestal em uma paisagem for inferior a 20-30%, define-se um limiar, abaixo do qual os efeitos da fragmentação se tornam mais evidentes, devido à interação significativa entre perda de habitat e fragmentação. Isso indica que os efeitos da fragmentação por si só dependem da quantidade de habitat na paisagem. Os resultados de Hernández-ruedas et al., (2014) para uma paisagem com cobertura florestal de 40% (acima do limiar de 30%), revelaram a importância dos pequenos fragmentos, que, quando comparados aos grandes, não apresentaram diferenças em diversidade e estrutura florestal. Entretanto, mesmo em paisagens muito fragmentadas, a localização geográfica dos remanescentes florestais é mais importante do que seu tamanho para manter alguns serviços ecossistêmicos na paisagem. Dessa maneira, pequenos fragmentos florestais devem ser cada vez mais vistos como essenciais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (BODIN et al., 2006).

## 2.4 Geologia e padrões de relevo nas paisagens: Pernambuco como estudo de caso

De acordo com Ranta et al., (1998) os fragmentos de Floresta Atlântica situados nas paisagens ao sul do Estado de Pernambuco são em geral declivosos e sobre elevações entre 50 e 100 m. Já no norte do Estado, os remanescentes estão localizados nas áreas mais declivosas, porém estes são encontrados nas encostas e fundos de vale (TRINDADE; LINS-E-SILVA; SILVA, 2008).

Diferenças geológicas entre as regiões sul e norte são observadas pela predominância de unidades distintas. O Embasamento Cristalino constitui a principal estrutura geológica das paisagens ao sul, formado por gnaisses, migmatitos, xistos e granitos, de idade Pré-Cambriana (2,10 bilhões de anos até 542 milhões de anos) (LGGM-UFPE, 1992). Esta grande unidade é representada principalmente pelos litótipos dos complexos Belém do São Francisco e Cabrobó e por suítes magmáticas. Já as paisagens de Floresta Atlântica ao Norte são compostas principalmente por rochas sedimentares e sedimentos mais recentes, com idades variando do Cretáceo ao Quaternário (120 milhões de anos aos dias atuais). Seu principal litótipo é o Grupo Barreiras, formado por conglomerados e arenitos com níveis de argilitos e folhelhos (NASCIMENTO; FERREIRA; WILDNER, 2012).

Para caracterizar o relevo de uma paisagem, podem-se utilizar ferramentas de análise espacial para construção de mapas morfométricos. O elemento básico para elaboração desses mapas é o modelo digital de elevação ou do terreno (MDT), que pode ser interpolado a partir pontos dispersos ou contornos (ex. curvas de nível), seja em formato raster ou vetorial. Como alternativa, podem-se usar MDTs do programa Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) da NASA, com 30m de resolução no solo para os EUA e 90m para outros países (GROHMANN, 2004). No caso do Brasil dados do projeto TOPODATA podem ser utilizados com resolução de 30m (VALERIANO, 2008).

As unidades geológicas possuem uma alta relação com variáveis de relevo, especialmente a curvatura vertical, que está associada a processos de morfogênese, uma vez que atua diretamente nos processos de migração e acúmulo de matéria, principalmente água. Essa variável caracteriza o terreno em côncavo ou convexo. Entretanto, é definida como a segunda variável da altitude, ou a variação da declividade ao longo de uma distância (VALERIANO, 2008).

## 2.5 Relações entre a Topografia, hidrologia e vegetação

A topografia cria variações espaciais nas paisagens, condicionando os ambientes a processos que acabam conduzindo a vegetação a apresentar padrões que emergem como unidades de fitofisionomias (BISPO; VALERIANO; KUPLICH, 2010; RUGGIERO et al., 2006). Variáveis topográficas como elevação, declividade e curvaturas são utilizadas para prever processos hidrológicos como alagamento, velocidade e direção de fluxo de drenagem, hierarquia hídrica e delimitação de bacias hidrográficas e canais de drenagem (ANDERSSON; NYBERG, 2008; BAND, 1986; JONES, 2002; NIELSEN et al., 2011).

As zonas ripárias estão sujeitas a inundações, e possuem características próprias de solo com grande quantidade de matéria orgânica e baixa disponibilidade de oxigênio, criando condições de oxirredução. Essa condição produz vários compostos, muitos dos quais considerados altamente fitotóxico, e que acabam exercendo influência sobre vários processos críticos das plantas, incluindo as trocas gasosas, relações hídricas, partição fotossintética, translocação, equilíbrio hormonal, a nutrição, crescimento e produção de biomassa (PEZESHKI, 2001).

As várzeas apresentam diferenças expressivas em teores nutricionais de solo, quando comparados aos topos de morro e vertentes (SILVER et al., 1994). Esses teores acabam afetando as florestas, como já observavam os silvicultores tradicionais, de forma que em áreas mais secas as florestas são mais elevadas nos fundos de vales, enquanto que em habitats úmidos as florestas são mais altas nos cumes (DETTO et al., 2013).

Essas condições ambientais existentes nas zonas ripárias criam um ecossistema composto principalmente de plantas jovens, com baixa taxa de recrutamento e de sobrevivência, criando um declínio gradual nas populações, e possivelmente, uma perda da diversidade de espécies arbóreas (BERTHELOT et al., 2014). Barddal et al. (2003) avaliou um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial e constatou uma diversidade quase duas vezes menor do que as áreas fora da zona ripária. Dessa maneira, quanto mais distante do curso d'água e menos frequente for o alagamento maior será a riqueza de espécies (LITE; BAGSTAD; STROMBERG, 2005; REID; OGDEN; THOMS, 2011).

Essas áreas também possuem uma heterogeneidade longitudinal, ao longo do rio, criando gradientes espaciais complexos através das planícies aluviais, muitas

vezes relacionados com a altitude (CAPON, 2005; LITE; BAGSTAD; STROMBERG, 2005). Essa heterogeneidade proporciona a existência de uma alta diversidade de espécies, nativas ou exóticas (CAPON, 2005). A ocorrência de plantas exóticas está associada a distúrbios no ambiente, e como a maioria dos rios fluem através de assentamentos humanos, existem várias oportunidades para a introdução de propágulos de plantas exóticas na zona ripária. Dessa maneira, muitas plantas exóticas podem explorar oportunidades oferecidas pelas inundações naturais ou por perturbações antrópicas (RICHARDSON et al., 2007).

Modificações no regime hidrológico podem ter impactos significativos sobre o crescimento de algumas espécies (KEELAND; SHARITZ, 1997). Os indivíduos encontrados em condições de alagamento possuem alturas bem mais baixas do que aqueles observados nas áreas melhor drenadas. Além disso, também possuem pequenos diâmetros, os quais talvez não tenham maior incremento devido à vida mais curta das principais espécies (BARDDAL et al., 2003). Assim, a hidrologia tem um papel importante na condução da estrutura, composição e crescimento, bem como a arquitetura arbórea (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2010).

# **CAPÍTULO 1- FRAGMENTOS DE FLORESTA ATLÂNTICA EM DUAS PAISAGENS SOBRE GEOLOGIAS DISTINTAS E SEUS PADRÕES DE GEOMORFOMETRIA**

SILVA, MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO. **Fragmentos de Floresta Atlântica em duas paisagens sobre geologias distintas, e seus padrões de geomorfometria.** Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

## **3.1 RESUMO**

Na escala da fragmentação do bioma florestal tropical úmido, a topografia pode ser uma variável primordial. O objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre a distribuição espacial dos remanescentes florestais e os parâmetros de geomorfometria para paisagens com condições geomorfológicas distintas. O trabalho foi conduzido em duas paisagens na Floresta Atlântica brasileira, cobrindo 183 e 116 km<sup>2</sup>, ambas na Sub-região Biogeográfica Pernambuco, uma ao norte e outra ao sul do estado de Pernambuco, Brasil. As áreas estão sobre geologias distintas, uma predominantemente sedimentar e outra cristalina/ metamórfica. Para as análises espaciais, foram utilizadas imagens de satélite com sensor de alta resolução processadas e vetorizadas, e modelos digitais do terreno disponibilizados pelo projeto TOPODATA. As informações foram integradas e analisadas em um sistema de informações geográficas. As paisagens estudadas apresentaram cobertura vegetal >30%, com a maioria dos fragmentos menor que 50 ha. O relevo das paisagens possui muitas áreas planas (<10° de declividade), porém as áreas ocupadas por remanescentes florestais são predominantemente inclinadas (>10°). Na paisagem sedimentar, a curvatura vertical dos fragmentos não foi diferente do esperado, entretanto na paisagem cristalina existe uma predominância de ocupação por fragmentos florestais nas áreas convexas. Há mais remanescentes florestais em relevo mais íngreme do que em relevo suave. Porém, a forma do terreno íngreme varia sobre geologias distintas em diferentes paisagens.

**Palavras-chave:** Curvatura vertical, declividade, fragmentação, geoprocessamento



### 3.2 INTRODUÇÃO

Variações no relevo, especialmente de declividade, e outras variáveis associadas como umidade e fertilidade do solo (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994) e presença de corpos d'água (BERTHELOT et al., 2014), condicionam diferenças na fisionomia e estrutura da vegetação nos habitats presentes em florestas. O relevo influencia de forma direta a estrutura das assembleias de plantas, pois proporciona sítios com características próprias que favorecem a dinâmica de sucessão (SILVA et al., 2007). Porém, algumas pressões são indiretas, como a ocupação humana, particularmente condicionada também pelo relevo, e que vem a ser um fator de forte atuação sobre a distribuição da vegetação, principalmente em paisagens fragmentadas (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008).

As pesquisas atuais em ecologia de paisagens vêm promovendo mudanças nos paradigmas vigentes nos estudos sobre fragmentação e conservação. Por esta abordagem, permite-se a integração da heterogeneidade espacial e do conceito de escala na análise ecológica (METZGER, 2001), facilitando a compreensão da relação entre processos e padrões ecológicos. Uma série de pesquisas em ecologia de paisagens tem relacionado padrões de paisagem aos conjuntos de variáveis que incluem os fatores biofísicos e socioeconômicos (TURNER, 2005). Um dos temas centrais da área trata das mudanças de usos da terra e cobertura do solo, na tentativa de compreender as relações entre os processos ecológicos e mudanças nos padrões espaço-temporais de paisagens, seus fatores condicionantes e impactos antrópicos (WU, 2012).

Diversos estudos em ecologia de paisagens vêm buscando compreender a influência do relevo sobre a Floresta Atlântica brasileira remanescente (MELLO, 2009; SATTLER et al., 2014). Esse bioma, que já cobriu uma área de aproximadamente 1.300.000 km<sup>2</sup> ao longo da costa leste brasileira está entre as florestas tropicais mais ameaçadas do mundo, com sua maior extensão coincidindo com as áreas mais povoadas do país (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2013; GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005; RIBEIRO et al., 2009). A Floresta Atlântica é uma área prioritária para a conservação, pois possui uma crescente perda de habitat e um elevado número de endemismos, o que a torna uma área chave para conservação ou *hotspot* (MITTERMEIER et al., 2011; MYERS et al., 2000).

O Estado de Pernambuco está inserido em uma das Sub-regiões Biogeográficas da Floresta Atlântica propostos por Silva e Casteleti, (2005). Segundo essa classificação, a sub-região inclui todas as florestas entre os estados do Rio Grande do Norte e Alagoas, com área de domínio de Floresta Atlântica em torno de 39.000 km<sup>2</sup>, na qual apenas 11,5 % estão preservados, principalmente em pequenos fragmentos (RIBEIRO et al., 2009).

Na região Pernambuco, os fragmentos de Floresta Atlântica situados na paisagem ao sul são em geral declivosos e com elevações entre 50 e 100 m (RANTA et al., 1998). Na paisagem ao norte, os remanescentes também estão localizados nas áreas mais declivosas, porém nas encostas e fundos de vale (TRINDADE et al., 2008). Diferenças geológicas entre as regiões sul e norte são observadas pela predominância de unidades distintas, sendo o Embasamento Cristalino a principal estrutura da paisagem ao sul, de idade Pré-Cambriana (2,10 bilhões de anos até 542 milhões de anos) ((LGGM)-UFPE, 1992) e rochas sedimentares e sedimentos mais recentes na paisagem ao norte, com idades variando do Cretáceo ao Quaternário (120 milhões de anos aos dias atuais) (NASCIMENTO; FERREIRA; WILDNER, 2012).

As unidades geológicas possuem uma alta relação com a variável de relevo curvatura vertical, que está associada a processos de morfogênese, uma vez que atua diretamente nos processos de migração e acúmulo de matéria, principalmente água. De forma mais simples, essa variável caracteriza o terreno em côncavo ou convexo (VALERIANO, 2008).

Esse trabalho visa a analisar a relação entre a distribuição espacial dos remanescentes florestais e os parâmetros de geomorfometria para paisagens com condições geomorfológicas distintas. É nossa expectativa que o relevo explique o padrão de fragmentação da Floresta Atlântica. Se esta hipótese for confirmada, haverá mais remanescentes florestais em relevo mais íngreme do que em relevo suave, independentemente da geomorfometria predominante no terreno (côncavo ou convexo). Também é esperado que geologias distintas em diferentes paisagens gerem padrões geomorfométricos distintos (formas côncavas ou convexas), sobre os quais estarão os remanescentes florestais.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Área de estudo

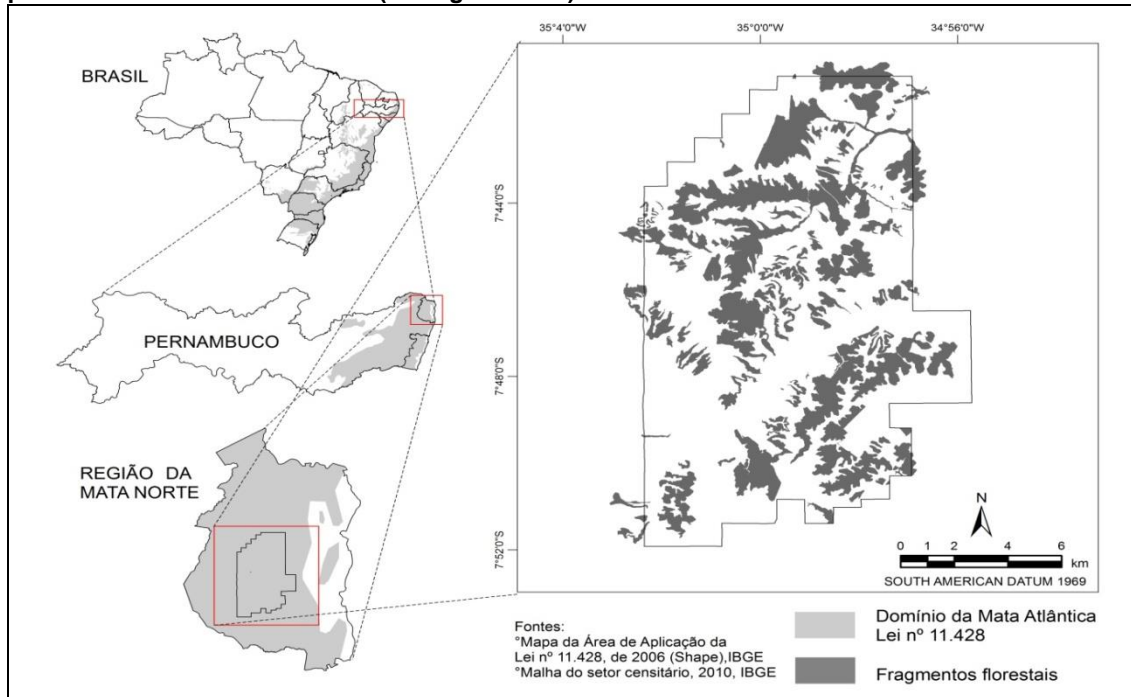
O estudo foi conduzido em duas paisagens de Floresta Atlântica, cobrindo 183 e 116 km<sup>2</sup>, ambas na Sub-região Biogeográfica Pernambuco (*sensu* SILVA e CASTELETI, 2005), uma ao norte e outra ao sul do estado de Pernambuco, Brasil, escolhidas por estarem sobre geologias distintas, predominantemente sedimentar e cristalina/ metamórfica, respectivamente.

A Paisagem Norte (Figuras 1 e 3) está inserida em uma região composta por oito municípios que cobrem 1377 km<sup>2</sup>, da qual ocupa cerca de 13%. As temperaturas médias anuais na área oscilam entre 24°C e 27°C com amplitude térmica anual baixa. As precipitações em geral são mais baixas do que na paisagem Sul, registrando-se média de 1610,7 mm no município de Abreu e Lima. O clima é do tipo tropical úmido As' da classificação climática de Köppen. A paisagem Norte tem como estruturas geológicas dominantes, em ordem decrescente de extensão, o Grupo Barreiras, Formação Beberibe, Formação Gramame, Embasamento Cristalino, Sedimentos recentes e Formação Maria Farinha. Os recursos hídricos superficiais estão constituídos pelos rios que integram as bacias hidrográficas dos rios Goiana, Botafogo-Arataka, Paratibe, Igarassu, Timbó, Itapessoca, Jaguaribe e pelo Canal de Santa Cruz, bem como pelas microbacias cujos rios principais nascem à retaguarda das praias ou da planície costeira e deságuam no Oceano Atlântico ou no Canal de Santa Cruz (CPRH, 2003a).

A Paisagem Sul (Figuras 2 e 4) inclui sete municípios litorâneos do Estado, totalizando 2097 km<sup>2</sup>, dos quais ocupa cerca de 6%. A temperatura média anual da área é de 24°C, variando entre a mínima de 18°C e a máxima de 32°C. As precipitações sofrem reduções do sul para o norte, passando de mais de 2400 mm anuais, no município de Barreiros, para 2106 mm anuais no Cabo de Santo Agostinho, caracterizando também um clima As' de Köppen. Traço característico da paisagem é a predominância de morros, cujas altitudes variam de 30 a mais de 400 m, e colinas, com 12 a pouco mais de 50 m de altitude. Os morros são formas de relevo modeladas em rochas muito antigas, constitutivas do Embasamento Cristalino, ao passo que as colinas foram modeladas em estruturas sedimentares mais recentes. A hidrografia é caracterizada por dois tipos de rios: rios litorâneos perenes, que nascem e deságuam na região úmida litorânea, e rios translitorâneos

temporários, que nascem no interior do Estado e tornam-se perenes quando penetram na zona litorânea úmida (CPRH, 2003b).

**Figura 1. Mapa de localização da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil, sobre geologia predominantemente sedimentar (Paisagem Norte).**



**Figura 2. Mapa de localização da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil, sobre geologia predominantemente cristalina (Paisagem Sul).**

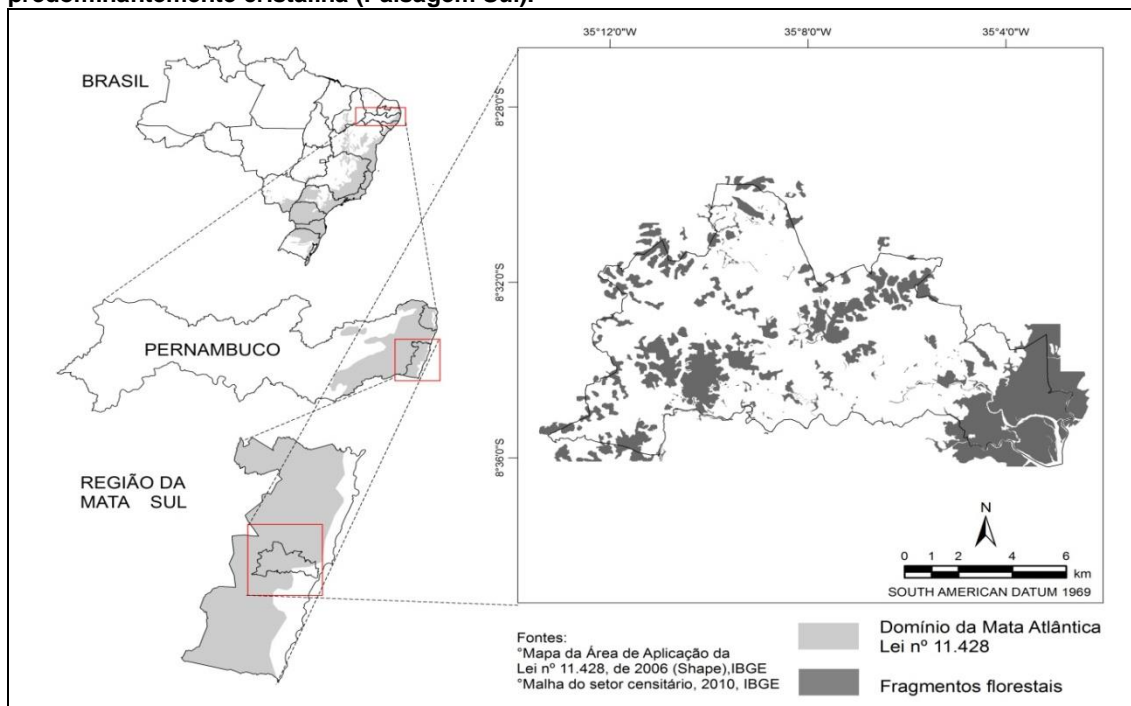


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil, com geologia predominantemente sedimentar (Paisagem Norte, PE).

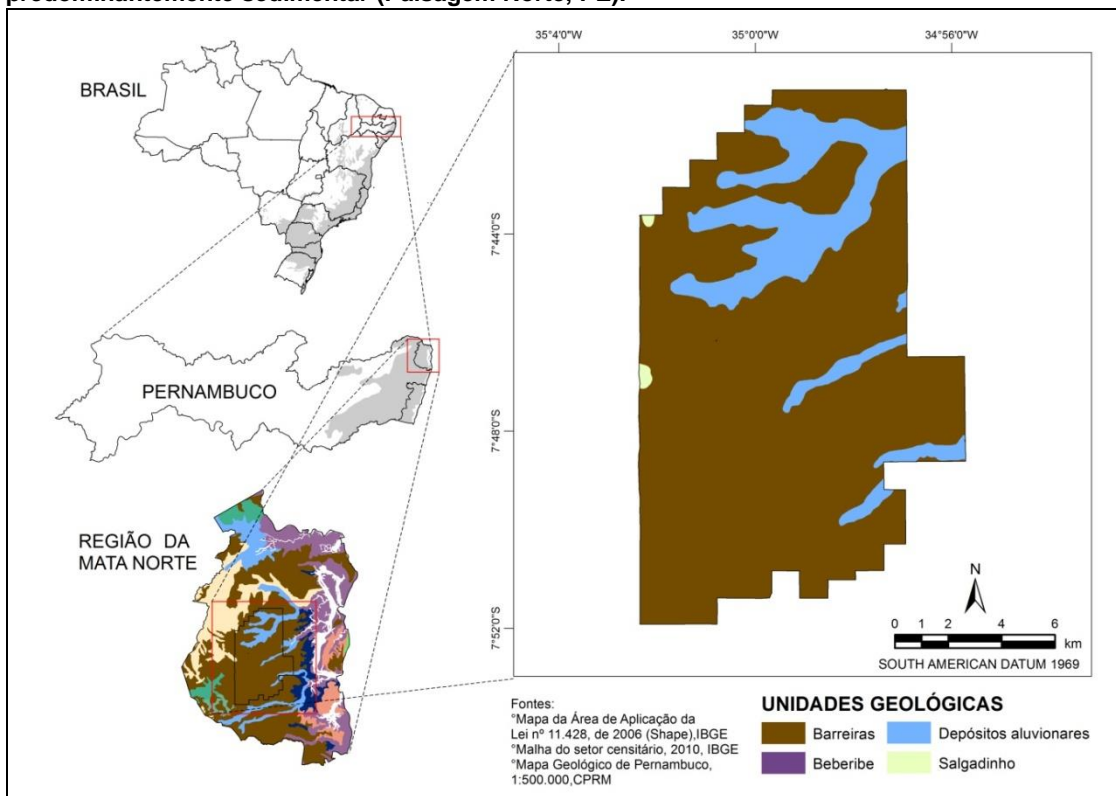
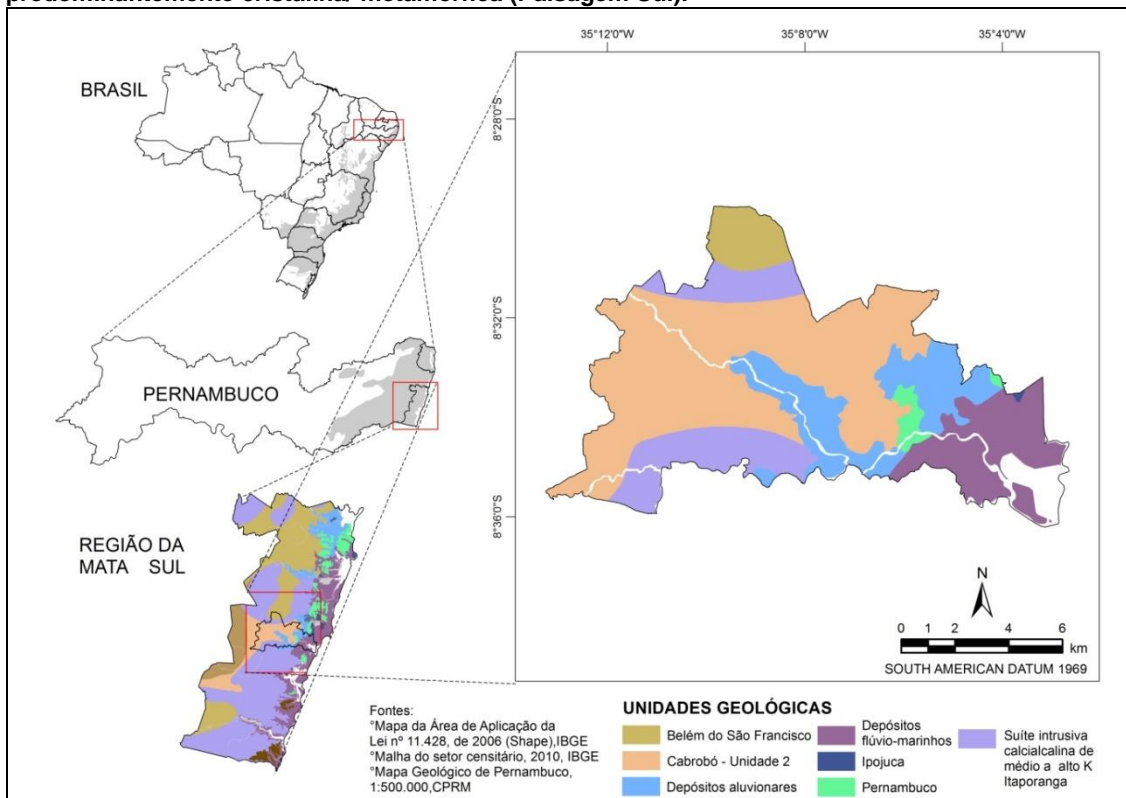


Figura 4. Mapa geológico da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil, com geologia predominantemente cristalina/metamórfica (Paisagem Sul).



### **3.3.2 Imagens e mapeamentos**

Foram adquiridas imagens de alta resolução espacial para as duas paisagens (0,3 x 0,3 m – Paisagem sul, e 1,0 x 1,0 m – Paisagem norte). As imagens foram obtidas por meio de parcerias já existentes entre a UFRPE e empresas sucroalcooleiras na região, especialmente Usina São José e Usina Trapiche.

O mapeamento foi realizado por meio de interpretação visual na escala de tela 1:5.000. O software utilizado para esse procedimento foi o ArcGIS 9.3 e as informações foram armazenadas no formato shapefile. Após definição dos limites, os polígonos foram classificados em usos do solo nas seguintes classes: agricultura, água, cana-de-açúcar, capoeira, remanescente florestal, silvicultura, solo exposto, urbano e não-identificado. As informações foram armazenadas em um Banco de Dados Geográfico, com projeção UTM (zona 25S) e datum SAD69.

### **3.3.3 Fonte e tratamento das informações de análise de estrutura da paisagem**

Para essa análise, foram extraídos dos mapas de uso do solo das duas paisagens os elementos da classe “remanescentes florestais”, a partir da qual foram calculadas as seguintes métricas de estrutura da paisagem: área média dos fragmentos e coeficiente de variação, valor de cobertura vegetal e média da distância do vizinho mais próximo.

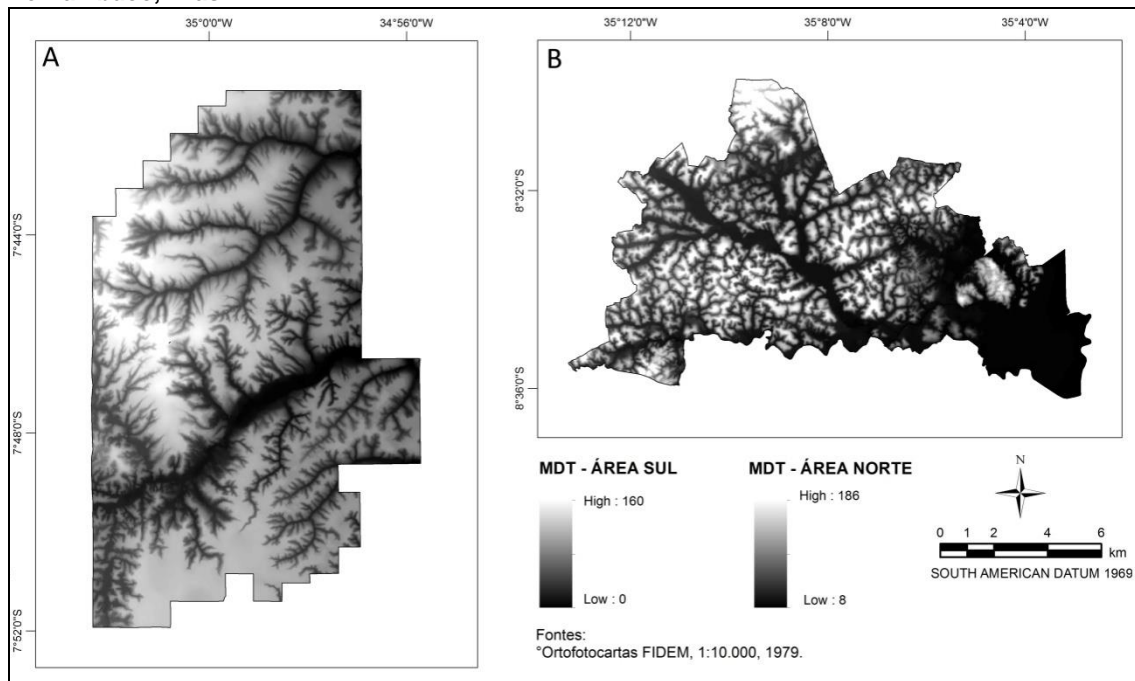
### **3.3.4 Fonte e tratamento das informações geomorfométricas**

Para a caracterização do relevo, foram adquiridas ortofotocartas na escala 1:10.000 para as duas paisagens, com resolução vertical de 5 metros entre curvas de nível. A partir dessas, foram criados modelos digitais do terreno (MDT) e modelos de relevo sombreado (hillshade) para cada área (Figura 4 e 5), e calculados os valores das variáveis de geomorfometria, em especial as declividades do terreno e curvatura vertical. Para análise da declividade, foi utilizado o software GRASS GIS 6.4.3, que admite a utilização de janelas móveis, com diferentes dimensões, no algoritmo de elaboração de declividade. Isso permite avaliar os pixels adjacentes e, assim, formar regiões mais homogêneas de classes de declividade (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2014). Os valores de declividade foram agrupados em seis classes: 0-5°, 5-10°, 10-15°, 15-20°, 20-25°, >25°.

Valores de curvatura vertical foram obtidos a partir de dados provenientes do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008), que disponibiliza variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) para todo o território brasileiro. Para as análises, foram utilizadas as cenas 07S36 e 08S36 disponibilizadas no portal do INPE (<http://www.dsr.inpe.br>).

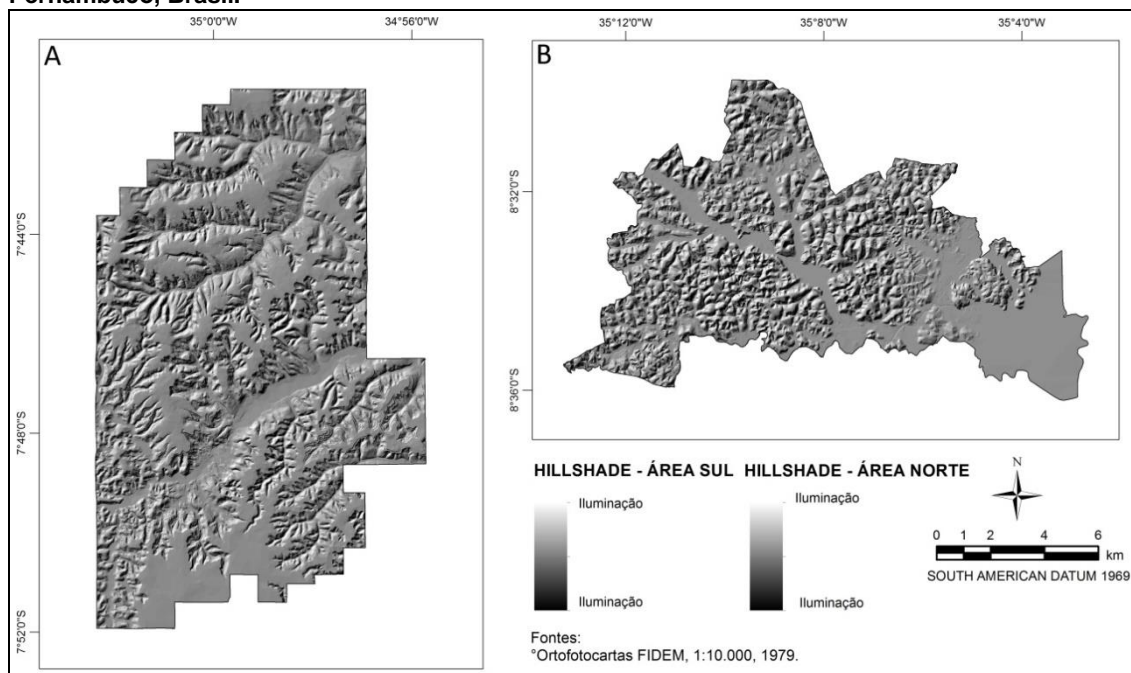
As curvaturas verticais podem ser classificadas em côncavas, retilíneas e convexas. Os valores de curvatura vertical foram classificados da seguinte maneira: côncavo ( $<-0,005 \text{ %/m}$ ), côncavo-moderado ( $-0,005 - -0,00125 \text{ %/m}$ ), retilíneo ( $-0,00125 - 0,00125 \text{ %/m}$ ) convexo-moderado ( $0,00125 - 0,005 \text{ %/m}$ ) convexo ( $>0,005 \text{ %/m}$ ). De maneira geral, os valores positivos corresponderam a terrenos convexas, enquanto os valores negativos a terrenos côncavos.

**Figura 5. Mapas dos modelos digitais do terreno (MDT) das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.**





**Figura 6. Mapas dos modelos sombreados do terreno (hillshade) das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.**



### 3.3.5 Análise dos dados

A classe de uso do solo “remanescente florestal” foi sobreposta aos mapas de declividade e curvatura vertical e, assim, extraídos os valores das áreas que cada classe dessas variáveis geomorfométricas ocupa nos remanescentes. Considerando uma distribuição aleatória dos remanescentes em função do relevo, é esperado que as frequências relativas das classes geomorfométricas encontradas nos remanescentes sejam semelhantes às frequências encontradas para toda a paisagem. Para se testar a independência entre as variáveis de relevo e a cobertura florestal, foi empregado o teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) ( $\alpha = 0,05$ ) (ZAR, 2010). Dessa maneira, foi avaliado se as frequências encontradas para a paisagem total (valor esperado) diferem significativamente das encontradas para os remanescentes florestais (valor observado). Foram utilizadas contagens relativas por classe para confecção de tabelas de contingência 6 x 2 (seis classes x duas amostras) para as análises de declividade, e para as análises de curvatura vertical tabelas de contingência 5 x 2 (cinco classes x duas amostras). Para verificar a contribuição de cada classe geomorfométrica nas possíveis diferenças, foi realizada a análise dos resíduos do qui-quadrado em tabelas de contingências.

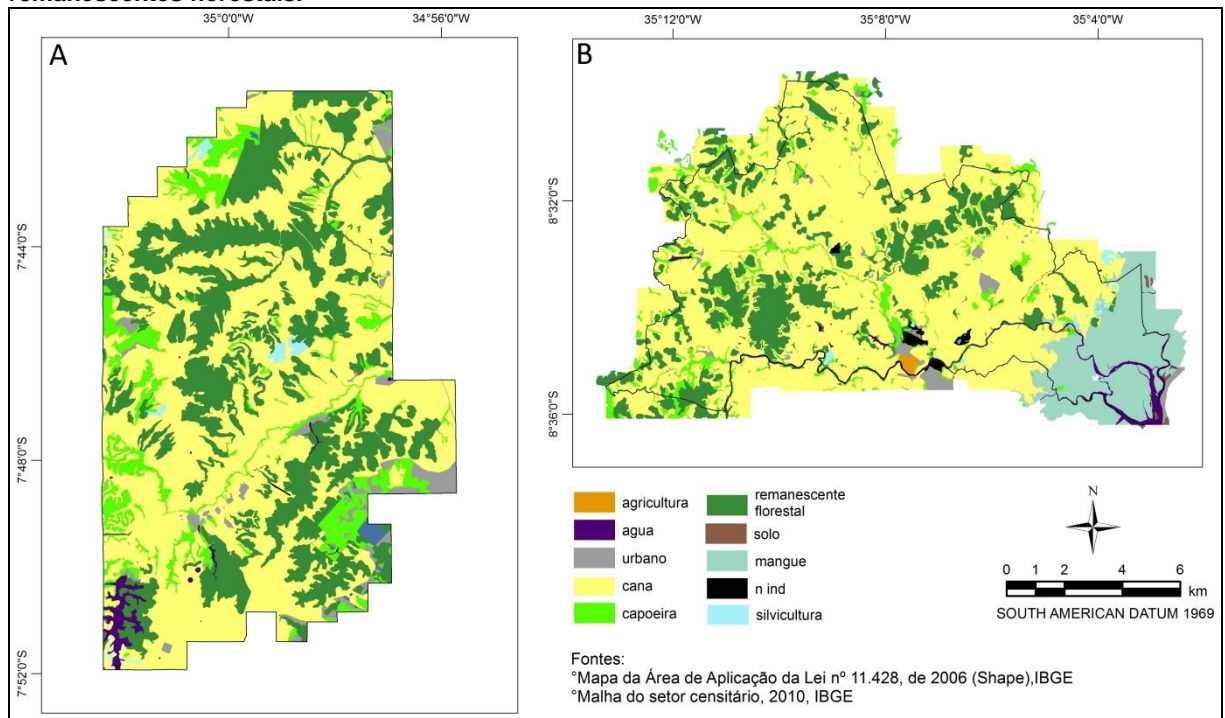


### 3.4 RESULTADOS

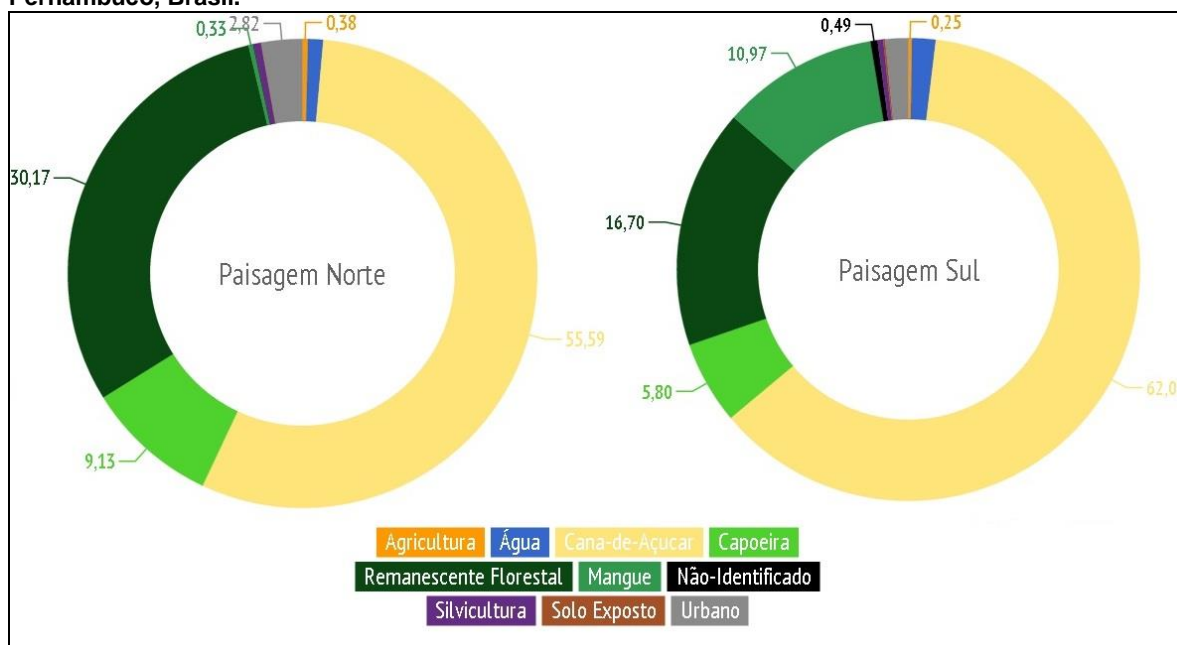
#### 3.4.1 Distribuição espacial dos remanescentes florestais em duas paisagens de Floresta Atlântica na Sub-região Biogeográfica Pernambuco

A paisagem norte possui cobertura vegetal (CV) de 39,63% e distância média entre fragmentos mais próximos de 87,25 m; no sul, registram-se 33,46% de CV e 93,35 m de distância entre fragmentos vizinhos (Figuras 7 e 8). A cobertura vegetal considerada para essa análise foi a soma das áreas de remanescentes florestais maduros e jovens e áreas associadas de manguezal. Os remanescentes florestais da paisagem norte são, em média, maiores que os da paisagem sul, com 51,86 ha e 17,20, respectivamente. Entretanto, o coeficiente de variação dos fragmentos da paisagem sul é mais elevado (344%) do que na paisagem norte (182%). A matriz, ou seja, a classe com maior cobertura na paisagem é cana-de-açúcar em ambas, no norte com 55,59% da área, e no sul com 62,03%. As demais classes ocupam menos de 5% em ambas as paisagens (Figuras 7 e 8).

Figura 7. Mapas de uso do solo das paisagens norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil. Em verde, os remanescentes florestais.



**Figura 8. Porcentagens relativas das classes de uso do solo para as paisagens sul e norte, em Pernambuco, Brasil.**









### **3.4.2 Fragmentos de Floresta Atlântica em duas paisagens sobre geologias distintas e seus padrões de geomorfometria**

Em termos gerais, os resultados revelaram que as duas paisagens são predominantemente planas (declividades < 10°), sem diferenças significativas entre as áreas norte e sul (p=0,2546). Os fragmentos florestais, porém, ocupam em sua maioria as áreas declivosas das paisagens (declividades > 10°) (Figuras 9, 10 e 11).

As duas paisagens possuem distintos padrões de curvatura vertical. Na paisagem norte, existe uma predominância de áreas convexas, enquanto na sul a classe côncava domina a paisagem (Figura 12). Entretanto, quando a curvatura vertical é avaliada nos fragmentos florestais, o padrão é invertido (Figura 13). Por exemplo, na paisagem norte, de geologia sedimentar, as áreas inclinadas ocupam os fundos de vale, de forma que o padrão geral de curvatura vertical encontrado é de fragmentos côncavos, situados nos fundos de vale, e fragmentos convexas localizados nas áreas de borda dos fundos de vale (Figura 9). As curvaturas verticais dos fragmentos convexas da paisagem sul são mais elevadas, com as áreas inclinadas concentrando-se nos morros e colinas sobre embasamento cristalino (Figura 9).

Figura 9. Desenho esquemático dos tipos de fragmentos mapeados e classificados por curvatura vertical do terreno, em duas paisagens de Floresta Atlântica sobre geologias distintas, Pernambuco, Brasil.

<p>CÔNCAVO PAISAGEM NORTE</p>		
<p>CONVEXO PAISAGEM NORTE</p>		
<p>CONVEXO PAISAGEM SUL</p>		

As frequências nas classes de declividade dentro dos fragmentos florestais da paisagem norte foram: 28% plana (0-10°), 63,06% inclinada (10-25°) e 8,94 % muito inclinada, com diferença significativa ( $p=0,0001$ ) entre o esperado e o observado quando analisadas as seis classes de declividade nos fragmentos. As alterações significativas ocorreram apenas na classe com declividades menores que cinco graus (nível alfa 0,05), passando de 39,25% na paisagem total para apenas 10,38% nos fragmentos (Tabela 1).

Nos fragmentos florestais da paisagem sul, as frequências foram: 23,35% plana, 54,56% inclinada e 22,09% muito inclinada, também com diferença significativa ( $p=0,0021$ ) quando avaliadas as seis classes de declividades e suas frequências para a paisagem total (esperada) e nos fragmentos florestais (observado). A análise dos resíduos mostrou que as classes menores que cinco graus e maiores que 25 graus sofreram alterações significativas (nível alfa 0,05) (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagens esperadas e observadas de remanescentes florestais em duas paisagens sobre geologias distintas, em função das seis classes de declividade, e teste de independência de  $\chi^2$ . \*Classes de declividade que sofreram diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Classes de declividade	Classes de declividade na paisagem (%) (porcentagens esperadas)		Classes de declividade nos fragmentos (%) (porcentagens observadas)	
	Paisagem Sul	Paisagem Norte	Paisagem Sul	Paisagem Norte
0-5°	35,64	39,25	11,17*	10,38*
5-10°	12,12	19,37	12,18	17,62
10-15°	13,80	16,87	16,76	24,27
15-20°	15,03	12,78	19,56	22,89
20-25°	13,00	7,81	18,24	15,91
>25°	10,40	3,91	22,09*	8,94
$\chi^2_{0,05,5}$	6,57		18,76	25,81
	p = 0,2546		p < 0,0021	p < 0,0001

Figura 10. Classes de declividade para toda a paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.

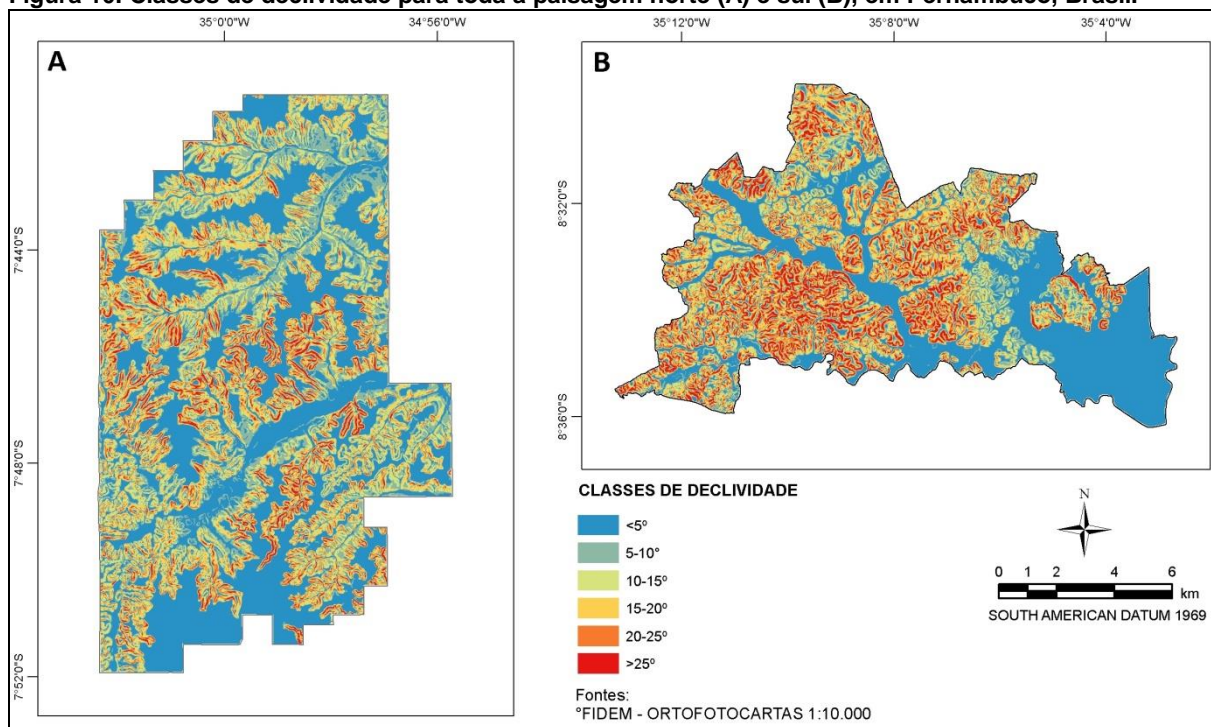
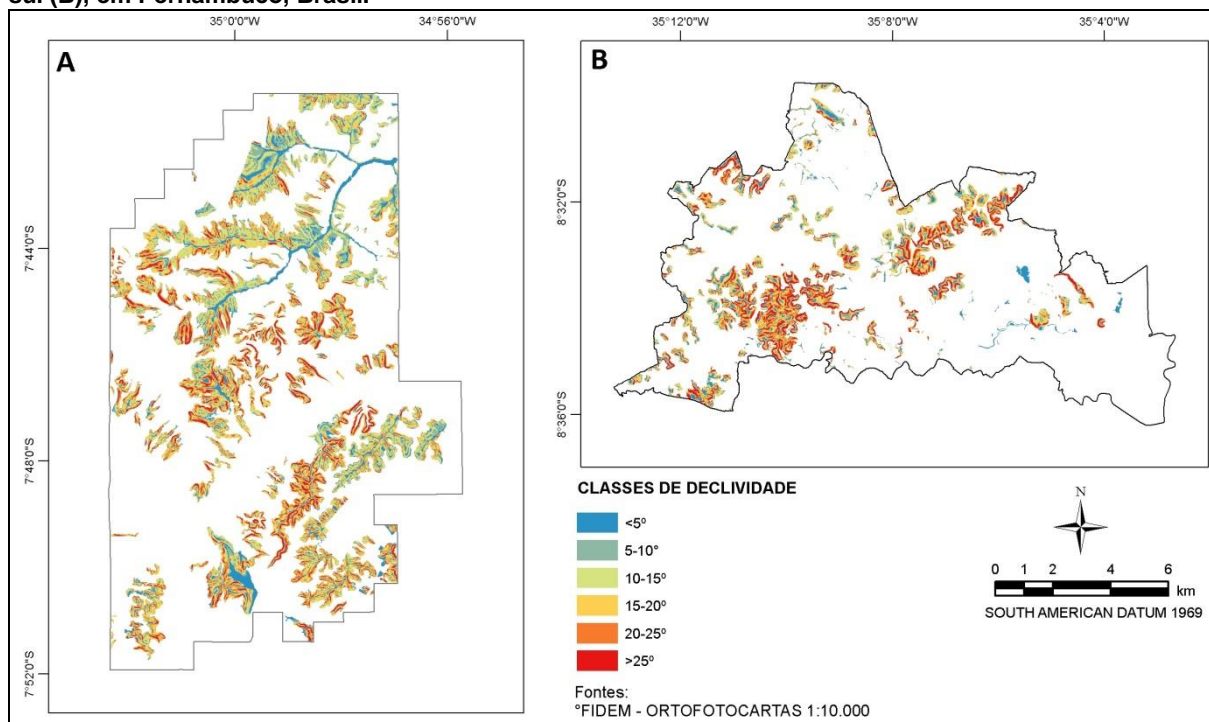


Figura 11. Classes de declividade apenas das áreas com remanescentes florestais. Paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.



As classes de curvatura vertical dentro dos fragmentos florestais da paisagem norte foram: 52,19% côncavo, 3,69% retilíneo e 44,12% convexo. Não houve diferença significativa ( $p=0,6121$ ) entre as frequências esperadas e observadas para as classes de curvatura nos fragmentos (Tabela 2).

Nos fragmentos florestais da paisagem sul, as frequências foram: 37,08% côncavo, 2,16% retilíneo e 60,76% convexo. Houve diferença significativa ( $p=0,0003$ ) entre as frequências na paisagem total (esperadas) e nos fragmentos florestais (observado). A análise dos resíduos mostrou que as classes de curvatura côncavas e convexas apresentaram alterações significativas (nível alfa 0,05) (Tabela 2).

Tabela 2. Porcentagens esperadas e observadas de remanescentes florestais em duas paisagens, em função das cinco classes de curvatura vertical, e teste de independência de  $\chi^2$ . \*Classes de curvatura que sofreram diferença significativa ( $p<0,05$ ).

Classes de declividade	Classes de curvatura vertical na paisagem (%) (porcentagens esperadas)		Classes de curvatura vertical nos fragmentos (%) (porcentagens observadas)	
	<i>Paisagem Sul</i>	<i>Paisagem Norte</i>	<i>Paisagem Sul</i>	<i>Paisagem Norte</i>
<b>Côncavo</b>	55,58	37,06	33,94*	46,81
<b>Côncavo-moderado</b>	7,82	5,94	3,13	5,38
<b>Retilíneo</b>	5,33	6,26	2,16	3,69
<b>Convexo-moderado</b>	5,68	8,60	3,27	5,44
<b>Convexo</b>	25,60	42,13	57,49*	38,68
$\chi^2_{0,05,4}$		8,67	21,47	2,68
		$p = 0,07$	$p < 0,0003$	$p < 0,6121$



Figura 12. Classes de curvatura vertical para toda a paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.

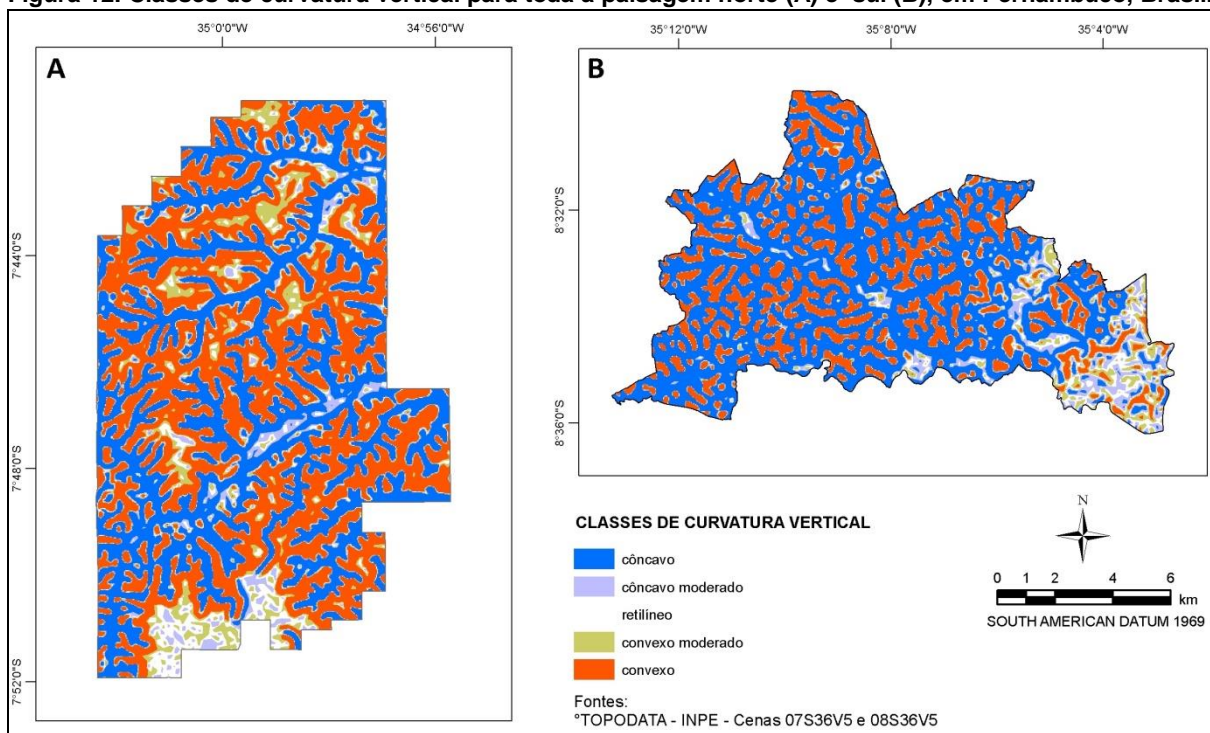
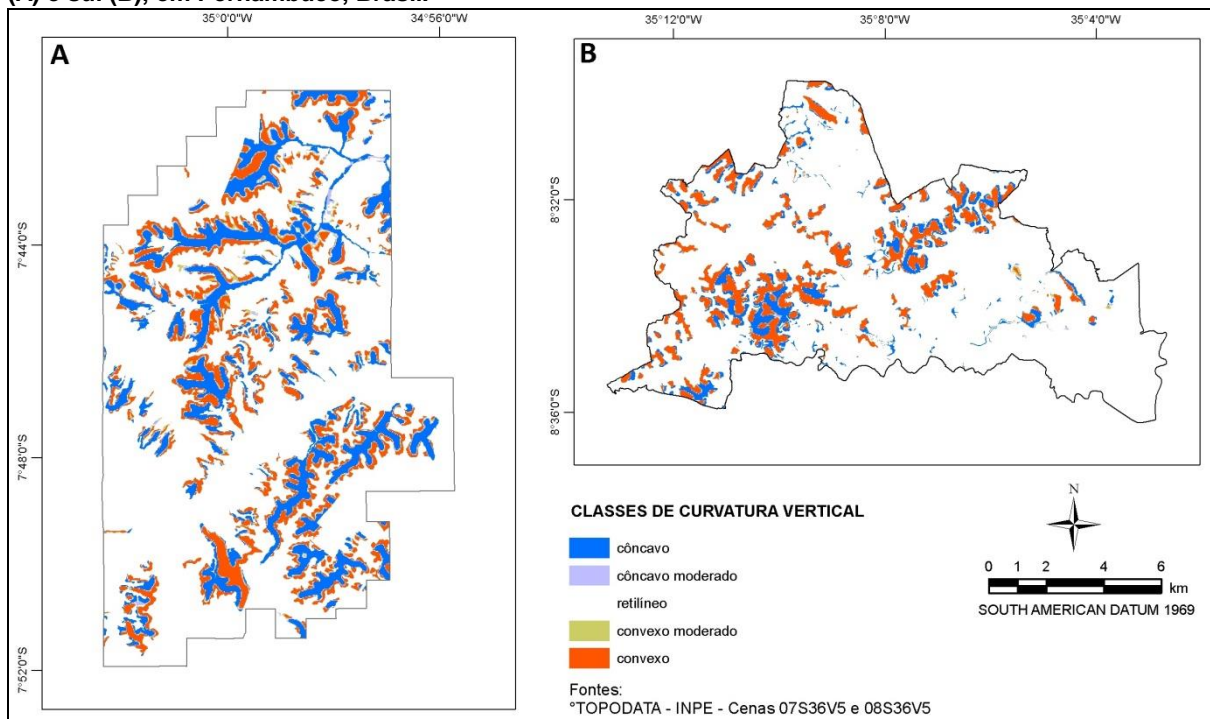


Figura 13. Classes de curvatura vertical apenas das áreas com remanescentes florestais. Paisagem norte (A) e sul (B), em Pernambuco, Brasil.



### 3.5 DISCUSSÃO

Nas duas paisagens, o tamanho médio dos fragmentos é semelhante (Paisagem a norte) ou menor (Paisagem sul) do que a maioria dos fragmentos encontrados para toda a Região da Mata Atlântica (RIBEIRO et al., 2009). Apesar da grande variação entre os tamanhos dos remanescentes, a conectividade entre os fragmentos é muito alta, principalmente por conta do valor relativo de cobertura vegetal encontrada (>30%). De acordo com Fahrig (2003), quando o que resta do ecossistema florestal em uma paisagem for inferior a 20-30%, define-se um limiar, abaixo do qual os efeitos da fragmentação se tornam mais evidentes, devido à interação significativa entre perda de habitat e fragmentação. Isso indica que os efeitos da fragmentação por si só dependem da quantidade de habitat na paisagem. Os resultados de Hernández-ruedas et al. (2014), para uma paisagem com cobertura florestal de 40% (acima do limiar de 30%), revelaram a importância dos pequenos fragmentos, que, quando comparados aos grandes, não apresentaram diferenças em diversidade e estrutura florestal.

O relevo afeta indiretamente a distribuição da cobertura vegetal, uma vez que a vegetação acaba por ocupar os espaços que são de menor interesse para implantação de atividades humanas. Este tipo de influência foi observado por Ranta et al. (1998) em um estudo realizado na Zona da Mata sul do estado de Pernambuco, revelando que a maioria dos fragmentos florestais estão localizados nos topos das colinas, circundados por cana de açúcar, situadas nas regiões mais baixas e de menor inclinação. Nas paisagens de Floresta Atlântica, as áreas mais declivosas são cobertas, preferencialmente, por florestas e vegetação secundária (capoeiras). Esta situação se inverte nas áreas de menor declividade, que passaram a ser ocupadas por classes indicativas de utilização do solo (pasto, eucalipto e solo exposto), confirmando assim uma preferência de utilização por terrenos mais planos (MELLO, 2009).

As análises mostraram que a cobertura vegetal não é independente do relevo, existindo uma forte associação entre as variáveis analisadas e a distribuição dos fragmentos na paisagem. Por exemplo, nas duas paisagens a declividade dentro dos fragmentos florestais é diferente da declividade fora dessas áreas. Existe, assim, uma forte tendência de ocupação dos fragmentos por classes de declividade mais elevadas. O relevo parece determinar a cobertura florestal, condicionando o uso

agrícola dos solos em áreas mais baixas e planas e gerando um padrão da distribuição dos remanescentes florestais (SILVA et al., 2007).

O predomínio de altas declividades nos remanescentes florestais resulta em diferenças na fisionomia e estrutura das florestas. Em escalas locais, por exemplo, estudos indicam que as condições do relevo, tais como altitude e declividade do terreno, podem influenciar a riqueza, composição e distribuição espacial da cobertura florestal (HOFER et al., 2008; OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). Variações na topografia, especialmente no que diz respeito à declividade, podem resultar em diferenças nas variáveis edáficas associadas, tais como umidade e fertilidade do solo, o que acaba afetando indiretamente o componente biológico (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994).

A curvatura vertical é uma variável associada a processos de morfogênese, ou seja, sua distribuição é bastante influenciada pela predominância das rochas de origem. Na paisagem norte, onde existe um predomínio de rochas sedimentares, os fragmentos não têm uma preferência significativa de ocupação por classes côncavas ou convexas, mesmo havendo uma inversão dos valores encontrados nas classes dentro dos fragmentos, quando comparadas com as classes de toda a paisagem. Já na paisagem sul, que é predominantemente formada por rochas do embasamento cristalino, existe uma inversão significativa entre as classes côncavas/ convexas quando comparadas dentro dos fragmentos e em toda paisagem. Assim, a maioria dos fragmentos florestais da região sul está em regiões convexas, e que são conhecidas popularmente como “topos de morro”.

A topografia cria variações espaciais nas paisagens, condicionando os ambientes a processos que acabam conduzindo a vegetação a apresentar padrões que emergem como unidades de fitofisionomias (BISPO; VALERIANO; KUPLICH, 2010; RUGGIERO et al., 2006). Variáveis topográficas como elevação, declividade e curvaturas são utilizadas para prever processos hidrológicos como alagamento, velocidade e direção de fluxo de drenagem, hierarquia hídrica e delimitação de bacias hidrográficas e canais de drenagem (ANDERSSON; NYBERG, 2008; BAND, 1986; JONES, 2002). Esses processos hidrológicos estão relacionados a modificações no ambiente e possibilitam a existência de habitats com estrutura e fisionomia florestal distintas (PEREIRA, 2006; DETTO et al., 2013; PEZESHKI, 2001; SILVER et al., 1994).



### 3.6 CONCLUSÃO

É possível tecer conclusões para a hipótese do estudo, confirmando que o relevo explica a fragmentação. Desta forma, a fragmentação da floresta atlântica não foi ao acaso, ou seja, a distribuição espacial dos remanescentes florestais não ocorre de forma aleatória nas paisagens estudadas, pois há mais remanescentes florestais em relevo mais íngreme do que em relevo suave. Porém, a forma do terreno íngreme (côncavo/ convexo) varia sobre geologias distintas em diferentes paisagens, criando condições abióticas distintas para as comunidades remanescentes, especialmente relacionadas às condições de drenagem e ocorrência de cursos d'água que os fragmentos côncavos assumem.

## **CAPÍTULO 2- GEOMORFOMETRIA DO TERRENO, ESTRUTURA E DIVERSIDADE DA ASSEMBLEIA ARBÓREA EM PAISAGENS FRAGMENTADAS DA FLORESTA ATLÂNTICA**

SILVA, MARCOS FRANCISCO DE ARAUJO. **Geomorfometria do terreno, estrutura e diversidade da assembleia arbórea**. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

### **4.1 RESUMO**

As condições do relevo podem influenciar a fisionomia e estrutura da vegetação de Floresta Atlântica. O objetivo deste trabalho foi testar a relação entre variáveis de geomorfometria e variáveis de estrutura da assembleia arbórea em paisagens com geologias predominantes distintas. O trabalho foi conduzido em duas paisagens, cobrindo 183 e 116 km<sup>2</sup>, ambas na Sub-região Biogeográfica Pernambuco, uma ao norte e outra ao sul do estado de Pernambuco, Brasil. As áreas estão sobre geologias distintas, uma predominantemente sedimentar e outra cristalina/metamórfica. Para as análises espaciais foram utilizadas modelos digitais do terreno disponibilizados pelo projeto TOPODATA. As informações foram integradas e analisadas em um sistema de informações geográficas. A vegetação foi amostrada em 15 fragmentos, por meio de 25 pontos quadrantes em cada, obtendo-se variáveis de fisionomia e diversidade. A curvatura vertical afetou significativamente variáveis de fisionomia (altura média e área basimétrica média) e diversidade (riqueza e índice de Simpson) do componente arbóreo. Contudo, a declividade influenciou significativamente apenas variáveis de fisionomia.

**Palavras-chave:** ponto-quadrante, curvatura vertical, declividade, riqueza

## 4.2 INTRODUÇÃO

Em escalas locais, as condições do relevo, tais como altitude e declividade do terreno influenciam a distribuição dos habitats, a riqueza, composição e distribuição espacial da cobertura florestal (HOFER et al., 2008; OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). Essas diferenças morfológicas de relevo também afetam indiretamente a vegetação, pois tem uma relação muito forte com variáveis edáficas tais como umidade e fertilidade do solo. Dessa maneira, o relevo acaba assumindo um papel de indicador ou duplê da estrutura da floresta (JARVIS, 2005; MOODY; MEENTEMEYER, 2001; OLIVEIRA-FILHO et al., 1994).

Elevação, declividade e curvaturas são variáveis topográficas que, de maneira geral, estão associadas a processos hidrológicos como alagamento, velocidade e direção de fluxo de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas e canais de drenagem. Essas características configuram áreas com atributos físicos e biológicos semelhantes, portanto, tais variáveis são eficientes para criação de unidades em mapeamentos (ANDERSSON; NYBERG, 2008; BAND, 1986; JONES, 2002). As regiões de várzea apresentam diferenças expressivas em teores nutricionais de solo, quando comparados aos topos de morro e vertentes (SILVER et al., 1994). Esses teores acabam afetando as florestas, como já observavam os silvicultores tradicionais, de forma que, em áreas mais secas, as florestas são mais altas nos fundos de vales, enquanto que em habitats úmidos as florestas são mais altas nos cumes (DETTO et al., 2013). Nos habitats mais úmidos, características próprias de solo, como grande quantidade de matéria orgânica e baixa disponibilidade de oxigênio, criam condições de oxi-redução que exercem influência sobre vários processos críticos das plantas (PEZESHKI, 2001).

Em escalas regionais, é possível verificar a influência do relevo como um fator determinante na fisionomia, composição florística e número de espécies, como evidenciado nos "brejos de altitude" encontrados no semiárido do nordeste brasileiro. Nesses ambientes, verifica-se que a cobertura vegetal presente em diferentes altitudes pode apresentar valores distintos de abundância e riqueza. Essas diferenças são compreendidas por meio do condicionamento que o relevo provoca nas taxas de precipitação, umidade relativa, temperatura da área e condições do solo (FERRAZ et al., 1998). Associada aos processos de morfogênese, as unidades geológicas são muitas vezes explicadas pela variável de relevo curvatura vertical,

que atua diretamente nos processos de migração e acúmulo de matéria, principalmente água. De forma mais simples, essa variável caracteriza o terreno em côncavo ou convexo (VALERIANO, 2008).

O relevo, portanto, influencia de forma direta a vegetação, pois proporciona sítios com características próprias que favorecem a dinâmica de sucessão. Porém, algumas influências são indiretas, já que a ocupação humana pode ser um fator de forte influência sobre a distribuição da vegetação, sendo esta particularmente condicionada também pelo relevo (SILVA et al., 2007). Este tipo de influência foi observado por Ranta et al. (1998) em um estudo realizado na Zona da Mata sul do estado de Pernambuco/Brasil, revelando que a maioria dos fragmentos florestais está localizada nos topos das colinas, circundados por cana de açúcar situadas nas regiões mais baixas e de menor inclinação. Nas paisagens de Floresta Atlântica, as áreas mais declivosas são cobertas, preferencialmente, por florestas e vegetação secundária (capoeiras). Esta situação se inverte nas áreas de menor declividade, que passaram a ser ocupadas por classes indicativas de utilização do solo (pasto, eucalipto e solo exposto), confirmando assim uma preferência de utilização por terrenos mais planos (MELLO, 2009).

A floresta atlântica encontra-se em um contexto espacial de fragmentação e perda de habitat, o que resultou em uma diminuição da diversidade biológica. Quando avaliações da diversidade e estrutura florestal são realizadas neste bioma, é fundamental relacioná-las aos padrões de estrutura da paisagem para que, assim, seja possível analisar mais claramente as influências da disposição espacial dos fragmentos florestais sobre os padrões, processos e serviços ecossistêmicos (BASTIAN et al., 2014).

É crescente o interesse por abordagens que tratem das mudanças de usos da terra e cobertura do solo, na tentativa de compreender as relações entre os processos ecológicos e mudanças nos padrões espaço-temporais de paisagens, seus fatores condicionantes e impactos antrópicos (WU, 2012).

Diversos estudos vêm buscando compreender a influência do relevo sobre a estrutura da Floresta Atlântica brasileira (FREITAS; TEIXEIRA; METZGER, 2009; GUILHERME et al., 2012; SATTLER et al., 2014; SILVA et al., 2008, 2007), uma área prioritária para a conservação, pois possui uma crescente perda de habitat e um elevado número de endemismos, o que a torna uma área chave para

conservação ou *hotspot* (MITTERMEIER et al., 2011; MYERS et al., 2000). Por ser um *hotspot* (MITTERMEIER et al., 2011), é importante conhecer a diversidade de espécies arbóreas presentes nesses fragmentos para que se estabeleçam estratégias de conservação ou recuperação (MELLO, 2009).

Nas florestas tropicais, a heterogeneidade ambiental, resultante de diferenças no relevo, e os processos de partição de nicho em escalas locais determinam a diversidade e distribuição espacial de espécies arbóreas (GUILHERME et al., 2012). O relevo também possibilita diferenças no crescimento e acúmulo de biomassa das espécies arbóreas, que podem estar associadas com outras características abióticas tais como a variabilidade do solo (SATTLER et al., 2014). Além desses aspectos, diferenças na ocupação e uso do solo se relacionam com variações no relevo e afetam os padrões espaciais de distribuição da cobertura florestal (TEIXEIRA et al., 2009).

O Estado de Pernambuco está inserido em uma das Sub-regiões Biogeográficas da Floresta Atlântica proposta por Silva e Casteleti (2005). Segundo essa classificação, a sub-região inclui todas as florestas entre os estados do Rio Grande do Norte e Alagoas, com área de domínio de Floresta Atlântica em torno de 39.000 km<sup>2</sup>, na qual apenas 11,5 % estão preservados, principalmente em pequenos fragmentos (< 100 ha) (RIBEIRO et al., 2009). A conservação e restauração de pequenos fragmentos são necessárias para preservar efetivamente a diversidade vegetal da região Neotropical, que vem sendo fortemente desmatada (ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2009). Evidências indicam que o valor de pequenos fragmentos para a conservação da biodiversidade em paisagens modificadas pelo ser humano é maior em paisagens fragmentadas recentemente, com maior cobertura florestal remanescente, e incorporado em uma matriz de paisagem heterogênea (HERNÁNDEZ-RUEDAS et al., 2014).

A intensidade de perturbações antrópicas e a presença de vegetação no entorno alteram a riqueza de espécies, que também pode ser influenciada pelo tamanho dos fragmentos e grau de isolamento. Nesse sentido, pequenos fragmentos podem proporcionar abrigo para um número significativo de espécies e sua diversidade genética, além de possibilitar o planejamento de estratégias conservacionistas para prevenir a extinção dessas espécies (TURNER; CORLETT, 1996).

Esse trabalho visa a testar a relação entre variáveis de geomorfometria e variáveis de estrutura da assembleia arbórea em paisagens com geologias predominantes distintas. Para esse objetivo, coloca-se a seguinte hipótese: se a floresta atlântica restou em áreas mais íngremes, e estas áreas podem ser côncavas ou convexas, a geomorfometria predominante explica a estrutura e fisionomia florestais remanescentes.

### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em duas paisagens de Floresta Atlântica, na Sub-região Biogeográfica Pernambuco (*sensu* SILVA e CASTELETTI, 2005), uma ao norte com 183 km<sup>2</sup> e outra ao sul com 116 km<sup>2</sup>, ambas no estado de Pernambuco, Brasil, escolhidas por estarem sobre geologias distintas, predominantemente sedimentar e cristalina/ metamórfica, respectivamente.

Na paisagem Norte (Figura 14), as temperaturas médias anuais oscilam entre 24°C e 27°C e a precipitação média é de 1610,7 mm. As estruturas geológicas dominantes na área, em ordem decrescente de extensão, são o Grupo Barreiras, Formação Beberibe e Formação Gramame ((CPRH), 2003a).

Na paisagem Sul (Figura 15), a temperatura média anual é de 24°C e as precipitações variam entre 2400 e 2106 mm. Nesta região, predominam morros com altitudes entre 30 e 400 m, formas de relevo modeladas em rochas muito antigas, constitutivas do Embasamento Cristalino, principal estrutura desta paisagem, formado por gnaisses, migmatitos, xistos e granitos pré-Cambrianos (LGGM/UFPE, 1992; CPRH, 2003).

Figura 14. Mapa de localização da área de estudo ao norte de Pernambuco, Brasil (Paisagem Norte).

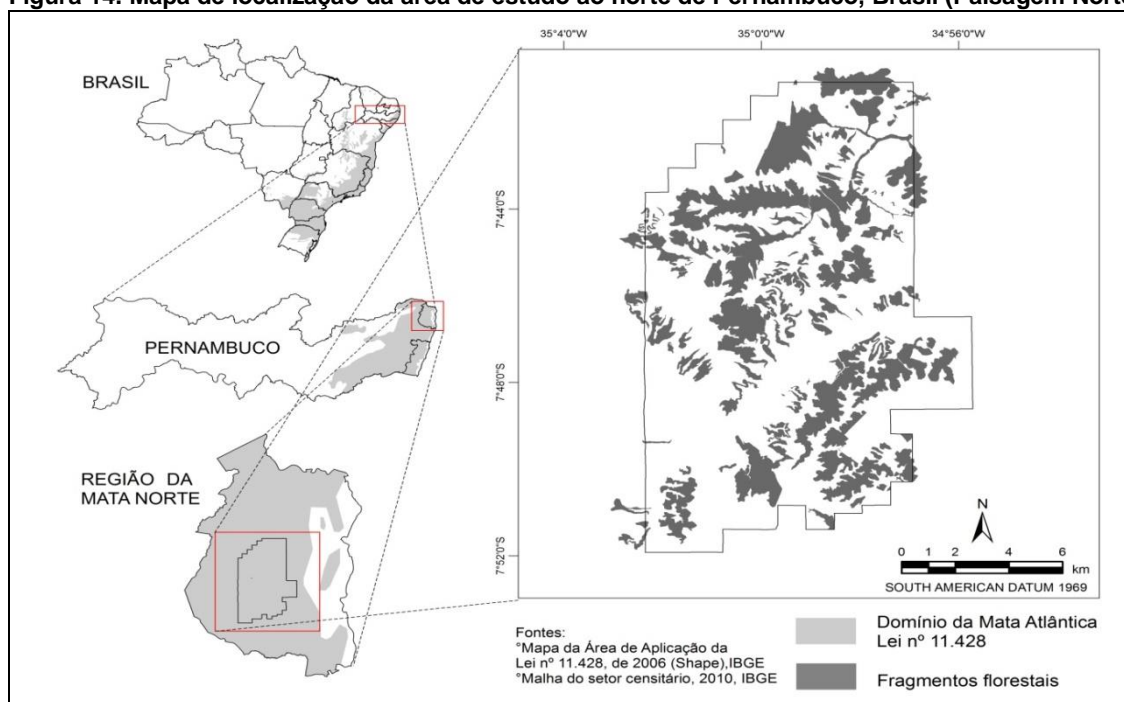
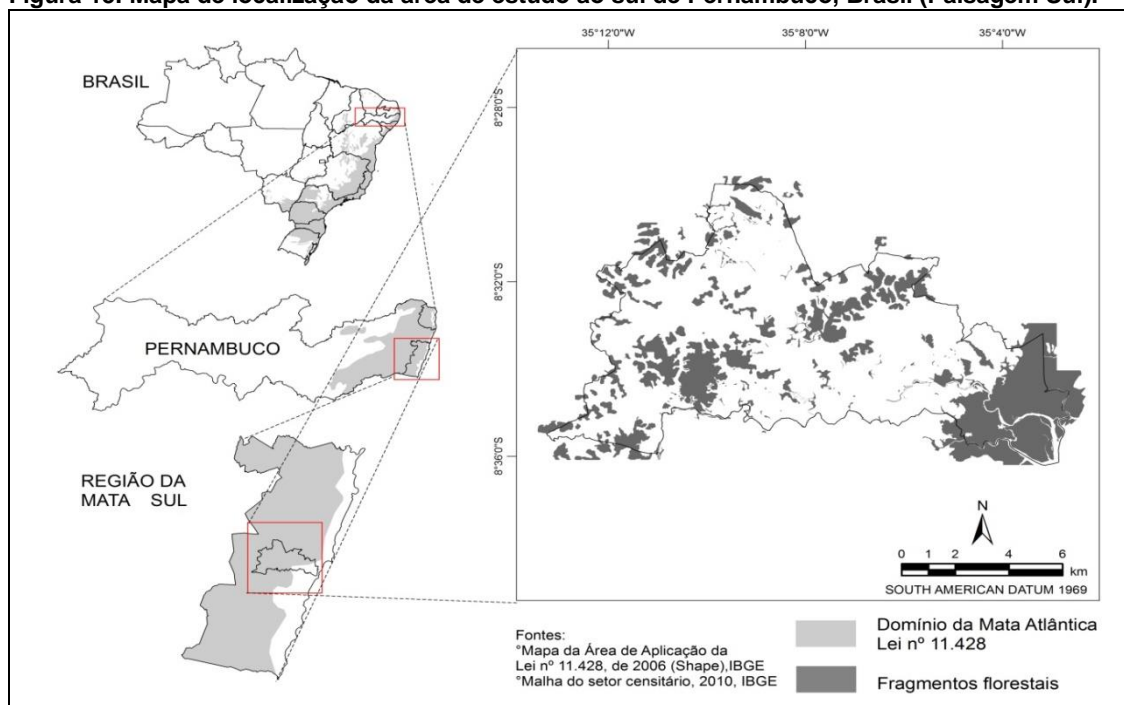


Figura 15. Mapa de localização da área de estudo ao sul de Pernambuco, Brasil (Paisagem Sul).



#### 4.3.2 Imagens, mapeamentos e informações geomorfométricas

Foram adquiridas imagens de alta resolução espacial para as duas paisagens (1,0 x 1,0 m – paisagem norte; 0,3 x 0,3 m – paisagem sul). O mapeamento foi realizado por meio de interpretação visual na escala de tela 1:5.000, no software

ArcGIS 9.3. Os polígonos gerados foram classificados em usos do solo, individualizando os remanescentes florestais. As informações foram armazenadas em um banco de dados geográfico, com projeção UTM (zona 25S) e datum SAD69.

Valores de curvatura vertical foram obtidos a partir de dados provenientes do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008), que disponibiliza variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) para todo o território brasileiro. A curvatura vertical considerada para essa análise foi obtida a partir dos valores de pixels das cenas utilizadas.

Para as análises, foram utilizadas as cenas 07S36 e 08S36 disponibilizadas a partir dos seguintes endereços:

**Cena 07S36** - [http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/08S36\\_VN.zip](http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/08S36_VN.zip)

**Cena 08S36** [http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/07S36\\_VN.zip](http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/07S36_VN.zip)

As curvaturas verticais podem ser classificadas em côncavas, retilíneas e convexas. Os valores de curvatura vertical entre  $-0,010^0/m$  e  $+0,010^0/m$  foram considerados como vertentes retilíneas. Os valores positivos corresponderam a terrenos convexos, enquanto os valores negativos a terrenos côncavos.

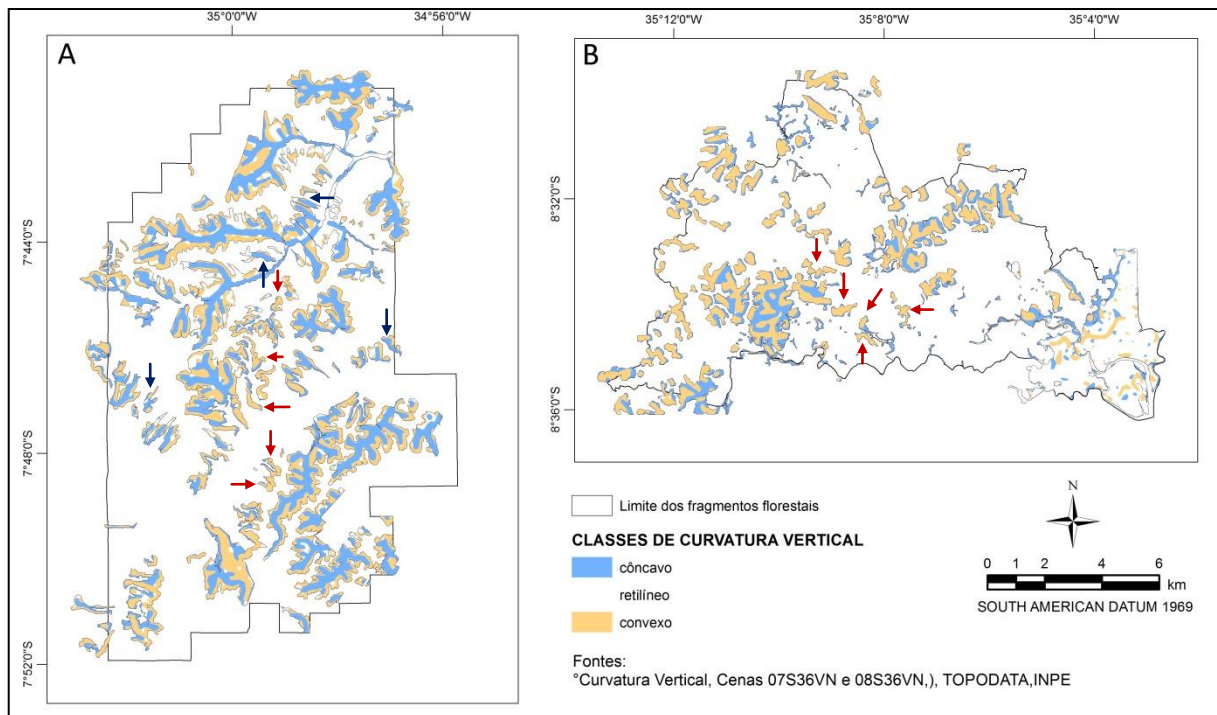
Os valores de declividade foram obtidos em campo, em cada ponto utilizado para amostragem de vegetação, com o auxílio de um clinômetro de visada com aproximação por estimativa de  $0,25^{\circ}$ , de forma que a baliza de visada estivesse com cinco metros de distância do clinômetro. Foram obtidas declividades em 25 pontos em cada fragmento estudado.

#### **4.3.3 Fonte e tratamento das informações biológicas**

Foram selecionados 15 fragmentos florestais com tamanhos entre 10 e 30 ha, que foram classificados em côncavos ou convexos de acordo com a predominância (>51%) de uma dessas classes (Figura 18). Na Paisagem Norte, foram selecionados 10 fragmentos, sendo cinco côncavos e cinco convexos. Na Paisagem Sul, como não foram encontradas réplicas de fragmentos côncavos para a classe de tamanho de fragmentos analisada, foram selecionados cinco fragmentos convexos.



**Figura 16. Fragmentos selecionados de acordo com a predominância da curvatura, cinco convexos e cinco côncavos na paisagem norte (A), cinco convexos na paisagem sul (B) em Pernambuco, Brasil. Setas vermelhas indicam os fragmentos convexos, setas azuis indicam fragmentos côncavos.**



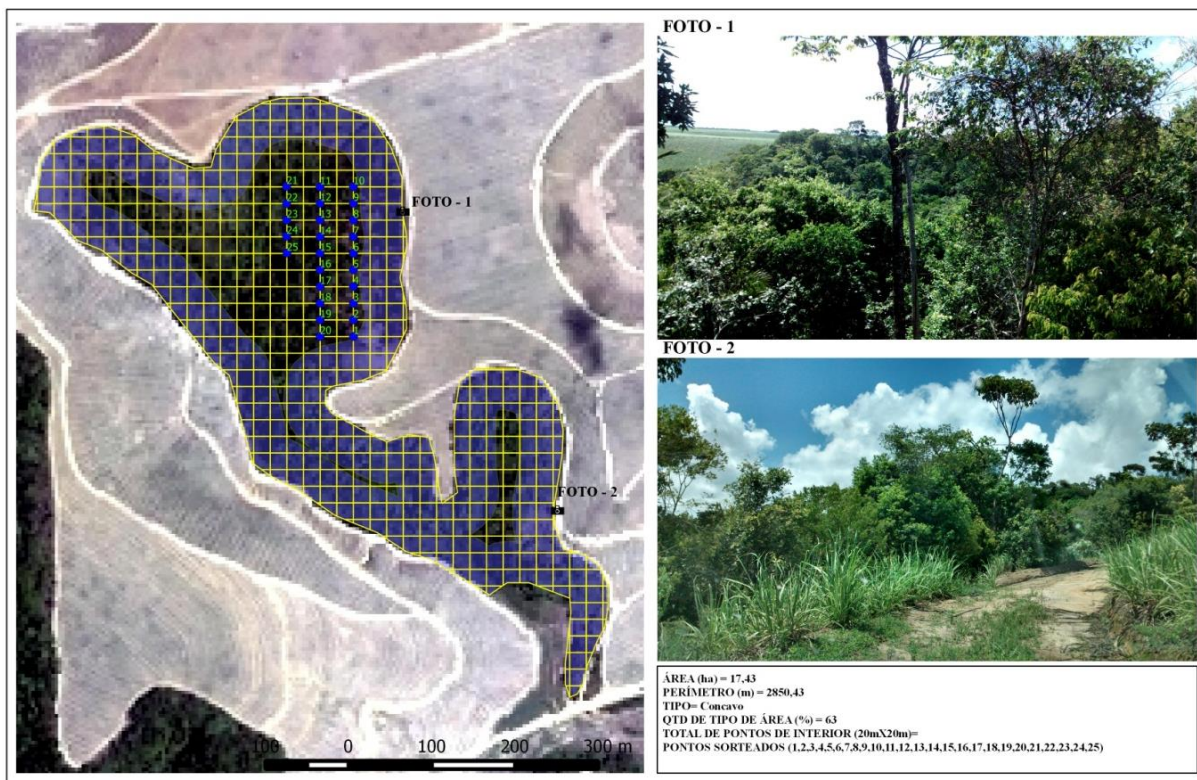
Nos fragmentos selecionados, foram excluídas as áreas de borda, criando-se *buffers* de 50 m do limite florestal para o interior. No interior de cada fragmento, foi criada uma grade de 20 m x 20 m, na qual foram posicionados sistematicamente pontos de amostragem da assembleia arbórea. Foram elaborados mapas para cada fragmento com a localização dos pontos de amostragem com as respectivas coordenadas georreferenciadas (SAD 69 - UTM - 25S) (Figura 19). Foi utilizado o método de pontos quadrantes (COTTAM; CURTIS, 1956) a cada 20 m, totalizando 25 pontos de amostragem por fragmento. Em cada ponto, as quatro árvores mais próximas em cada quadrante, desde que com CAP  $\geq 15$  cm, foram amostradas (medidas e identificadas), tomando-se também a distância ponto-planta para permitir estimativas de densidade e suficiência amostral. Assim, cada fragmento foi representado pelo mesmo número de árvores (100).

Para a definição da suficiência amostral, considerando que a base do método é a distância de cada indivíduo ao ponto quadrante, a avaliação do número de amostras necessárias foi realizada a partir da variável distância ponto-planta. O erro de amostragem (EA) estipulado foi de 20% a uma probabilidade de 95%.

Foram coletados ramos dos indivíduos amostrados para confirmação da identificação e montagem de coleção de referência a ser depositada em herbário

(Herbário HST/ UFRPE para coleção principal). A grafia dos nomes científicos seguiu a Lista de Espécies da Flora do Brasil (<http://www.floradobrasil.ibri.gov.br/>) e a listagem dos táxons seguiu o sistema de classificação Angiosperm Phylogeny Group III (CHASE; REVEAL, 2009).

**Figura 17. Mapa com a localização dos pontos de amostragem georreferenciados em um dos fragmentos analisados, em Pernambuco, Brasil.**

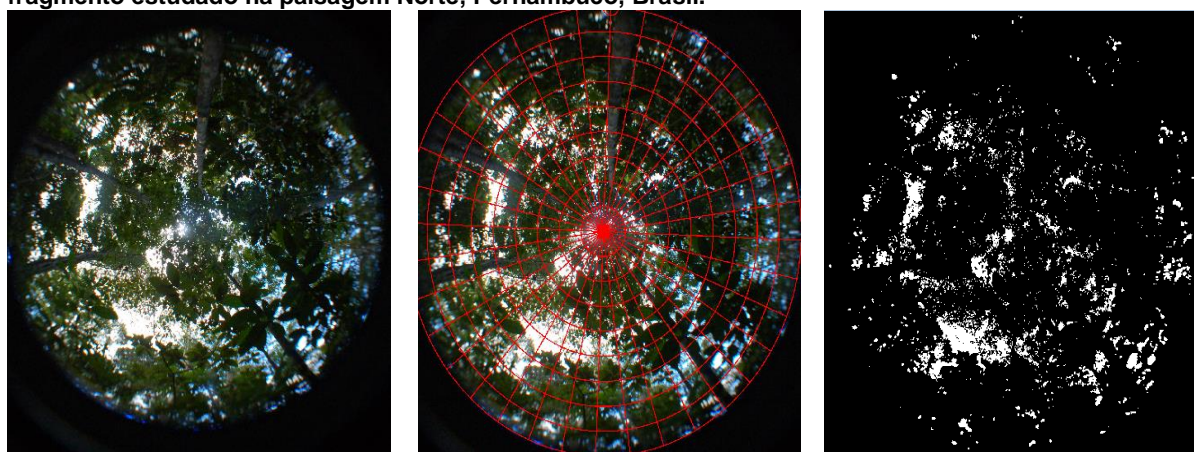


Para cada fragmento, foram obtidas as seguintes variáveis: abertura de dossel (%), área basimétrica média (m<sup>2</sup>), altura média (m), área média da planta (m<sup>2</sup>), riqueza (número de espécies) e índice de diversidade inverso de Simpson ( $D = 1 / \sum_{i=1}^s p_i^2$ .)

A abertura de dossel foi obtida por meio de fotografias hemisféricas através de câmera fotográfica NIKON D50 com lente “fisheye” acoplada para o registro de imagens. As imagens foram analisadas com o auxílio do software GLA (Gap Light Analyzer) (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999). Em cada fragmento, 25 fotografias hemisféricas foram obtidas para estimar a abertura do dossel, uma em cada ponto quadrante amostrado nos fragmentos. O processamento das imagens ocorreu de acordo com o protocolo proposto por Suganuma et al. (2008): (1) editar

as configurações do programa conforme o local do experimento, (2) registrar a imagem, fixando um mesmo padrão para todas as fotos, (3) escolher o azul como plano de cor de fundo, (4) regular o limiar da imagem para 200, (5) fazer a correção, quando necessário, de pequenos reflexos em galhos, troncos e folhas que assumiram a coloração branca e que seriam considerados como parte do dossel aberto, (6) realizar os cálculos para cobertura de copa e de luminosidade que atravessa o dossel e (7) obter a porcentagem de cobertura de dossel e a porcentagem de luz total que atravessa a cobertura, medido em mols/m<sup>2</sup>/d (Figura 20).

**Figura 18. Fotografia Hemisférica processada no software GLA 2.0, obtida para um ponto quadrante em fragmento estudado na paisagem Norte, Pernambuco, Brasil.**



A área basimétrica média (m<sup>2</sup>) foi considerada como a soma de todas as áreas transversais das 100 árvores amostradas por fragmento. A altura média (m) foi calculada a partir da média aritmética das alturas de todas as árvores amostradas por fragmento. Para inferir sobre a densidade das plantas amostradas, foi calculada a área média ocupada por essas árvores. Em cada ponto quadrante, foi calculada a média aritmética das quatro distâncias “ponto-planta” e com esse valor elevado ao quadrado (L<sup>2</sup>) obteve-se a área média de cada ponto (m<sup>2</sup>). Para representar os fragmentos, foram consideradas as médias dos 25 pontos quadrantes.

A riqueza da assembleia arbórea de cada fragmento foi obtida considerando-se o número de espécies encontradas. A diversidade alfa foi calculada através do índice de Simpson (D) (MAGURRAN, 2011). Esse índice considera, além do número de espécies, a distribuição dos indivíduos entre as espécies. Assim, os valores mais elevados são alcançados por distribuições mais homogêneas.

#### 4.3.4 Análise dos dados

Para análise da suficiência amostral, foram considerados os seguintes estimadores da variável  $x$  = distância ponto-planta:

Média

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Variância

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}}{n-1}$$

Desvio-padrão

$$s = \pm\sqrt{s^2}$$

Erro-padrão da média

$$s_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

Variância da média

$$s_{\bar{X}}^2 = \frac{s^2}{n}$$

Erro de amostragem

$$EA(\%) = \frac{t_{\alpha} s_{\bar{X}}}{\bar{X}} (100)$$

A análise da relação entre geomorfometria e estrutura da assembleia arbórea foi feita por meio de regressões lineares simples entre as variáveis geomorfométricas, como variáveis independentes, e as variáveis de fisionomia (abertura do dossel, área basimétrica média, altura média e área média da planta) e diversidade vegetal (riqueza e índice de Simpson) como dependentes, considerando-se os 15 fragmentos estudados. O modelo utilizado para as análises de regressão linear está representado pela seguinte expressão:  $Y = b_0 + b_1 X$ .

Para avaliar as mudanças na composição de espécies entre os fragmentos florestais côncavos e convexos na Paisagem Norte e entre os convexos das Paisagens Norte e Sul, foi estimado o índice de Bray-Curtis baseado na matriz de abundância de espécies. Em caráter exploratório, foram utilizadas as análises MDS (multidimensional scaling), e CLUSTER (Cluster analysis), com o teste do SIMPROF para avaliar a se os grupos formados foram significativos ( $p < 0,05$ ).



#### 4.4 RESULTADOS

Todos os fragmentos obtiveram erro amostral EA (%) menor do que os 20% estabelecidos inicialmente. Desta maneira, as 100 árvores foram suficientes para representar os fragmentos a uma probabilidade de 95%, quando utilizada a variável distância ponto-planta. Apenas o fragmento 10, localizado na Paisagem Norte, obteve EA maior do que 15% (Tabela 3).

**Tabela 3. Valores obtidos para cada um dos estimadores utilizados no cálculo da suficiência amostral da variável distância ponto-planta, em duas paisagens, Pernambuco, Brasil**

Paisagem	Curvatura	Fragmento Florestal	$\bar{X}$	$s^2$	s	$s_{\bar{X}}^2$	$s_{\bar{X}}$	EA (%)
Norte	Convexo	Frag01	2,91	3,10	1,76	0,03	0,18	<b>12,10</b>
Norte	Convexo	Frag02	2,88	2,44	1,56	0,02	0,16	<b>10,86</b>
Norte	Convexo	Frag03	2,65	1,89	1,38	0,02	0,14	<b>10,40</b>
Norte	Convexo	Frag04	2,34	1,85	1,36	0,02	0,14	<b>11,65</b>
Norte	Convexo	Frag05	2,82	2,43	1,56	0,02	0,16	<b>11,06</b>
Norte	Côncavo	Frag06	2,76	2,78	1,67	0,03	0,17	<b>12,06</b>
Norte	Côncavo	Frag07	3,12	4,47	2,11	0,04	0,21	<b>13,55</b>
Norte	Côncavo	Frag08	2,69	2,30	1,52	0,02	0,15	<b>11,27</b>
Norte	Côncavo	Frag09	2,51	2,67	1,63	0,03	0,16	<b>13,05</b>
Norte	Côncavo	Frag10	3,57	11,05	3,32	0,11	0,33	<b>18,62</b>
Sul	Convexo	Frag11	3,51	4,68	2,16	0,05	0,22	<b>12,34</b>
Sul	Convexo	Frag12	3,02	3,38	1,84	0,03	0,18	<b>12,16</b>
Sul	Convexo	Frag13	3,17	3,23	1,80	0,03	0,18	<b>11,33</b>
Sul	Convexo	Frag14	3,41	3,11	1,76	0,03	0,18	<b>10,35</b>
Sul	Convexo	Frag15	2,93	2,88	1,70	0,03	0,17	<b>11,57</b>

Nos fragmentos estudados na paisagem Norte, foram amostrados 1000 indivíduos, pertencentes a 39 famílias e 125 espécies/ morfoespécies; na paisagem Sul, foram amostrados 500 indivíduos, pertencentes a 33 famílias e 84 espécies/ morfoespécies (Apêndice 1). As famílias mais representativas nas áreas de estudo da paisagem Norte foram Fabaceae (19), Myrtaceae (13), Moraceae, Sapindaceae e Sapotaceae (sete espécies cada). O padrão encontrado na paisagem Sul foi um pouco diferente, com as famílias Fabaceae (11 espécies), Melastomataceae (oito) e Myrtaceae (oito) obtendo o maior número de espécies.

A riqueza média por fragmento na Paisagem Sul (39,6 espécies / fragmento) é mais elevada e diferente da registrada na nos fragmentos da Paisagem Norte (32,2 espécies / fragmento). Assim, o maior número de espécies encontradas na Paisagem Norte provavelmente se dá por conta do esforço amostral ter sido duas vezes maior.

Os valores de curvatura vertical média por fragmento amostrado variaram de -0,0118 a 0,1128°/m e de declividade variaram de 7 a 26°. A abertura do dossel encontrada foi de 7 a 11,6% nos fragmentos, já a área basimétrica média por fragmento variou de 1,08 a 4,02 m<sup>2</sup>/ 100 árvores. O parâmetro altura média foi obtido entre 6,9 e 11,0 m, com a área média das plantas variando entre 5,86 e 17,75 m<sup>2</sup>/ ponto. Os parâmetros de riqueza e diversidade de Simpson por fragmento foram: entre 24 a 47 espécies e 6,13 a 23,15, respectivamente.

Os pressupostos de independência, homocedasticidade e normalidade dos resíduos foram atendidos para todas as regressões. Essas análises foram realizadas no ambiente R (R CORE TEAM, 2014).

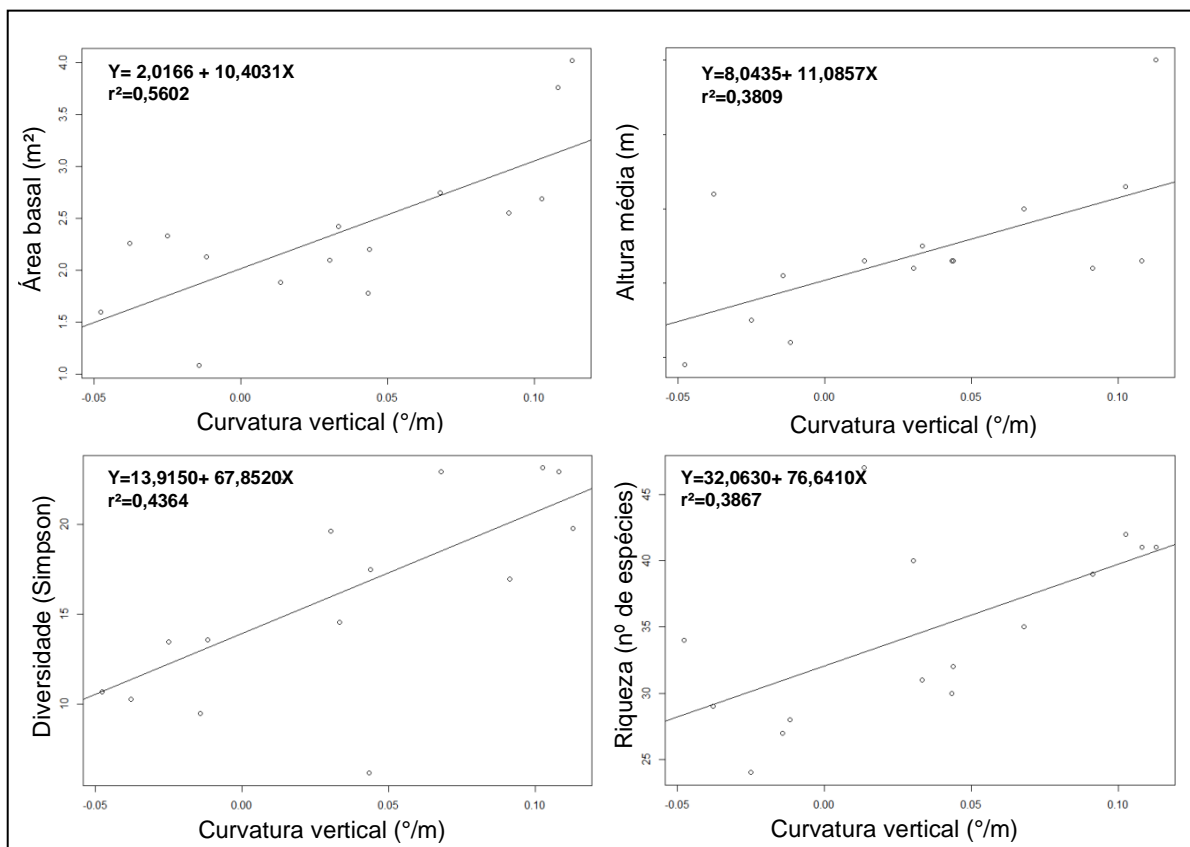
Foram obtidas seis equações de regressão entre a curvatura vertical e os valores obtidos de fisionomia (abertura do dossel, área basimétrica média, altura média, área da planta) e diversidade arbórea (diversidade e riqueza) nos fragmentos. Os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) calculados variaram de 0,0203 a 0,5602, já os valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) variaram de 0,1423 a 0,7485 (Tabela 4). Entre as seis variáveis dependentes analisadas, a curvatura vertical influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) duas variáveis fisionômicas (área basimétrica média e altura média) e as duas variáveis de diversidade (riqueza e diversidade de Simpson) (Figura 21).

O maior valor de  $r^2$  significativo para variáveis de fisionomia foi da área basimétrica média com 0,5602 com  $p = 0,0013$ ; para altura média, encontrou-se  $r^2 = 0,3809$  e  $p = 0,0142$ . O valor de  $r^2$  calculado entre diversidade de Simpson e curvatura vertical foi 0,4364 com  $p = 0,0073$  e para riqueza de espécies  $r^2 = 0,3867$  com  $p = 0,0133$ . Todas as regressões significativas de curvatura vertical apresentaram correlação positiva entre variáveis, com  $B1 > 0$ .

**Tabela 4. Variáveis e parâmetros das regressões com variável independente curvatura vertical, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil. (\*) Indica uma relação significativa entre as variáveis dependente e independente ( $p < 0,05$ ).**

Modelo	p-valor	$r^2$	$r$	B0	B1
área basimétrica média ~ curvatura vertical	0,0013*	0,5602	0,7485	2,0166	10,4031
diversidade ~ curvatura vertical	0,0073*	0,4364	0,6606	13,9150	67,8520
riqueza ~ curvatura vertical	0,0133*	0,3867	0,6219	32,0630	76,6410
altura média ~ curvatura vertical	0,0142*	0,3809	0,6172	8,0435	11,0857
abertura do dossel ~ curvatura vertical	0,2530	0,0991	-0,3149	9,5463	-8,8215
área da planta ~ curvatura vertical	0,6129	0,0203	0,1423	9,5972	7,6774

Figura 19. Gráficos gerados a partir dos modelos significativos para a Curvatura Vertical (variável independente) e variáveis dependentes de fisionomia e diversidade, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.

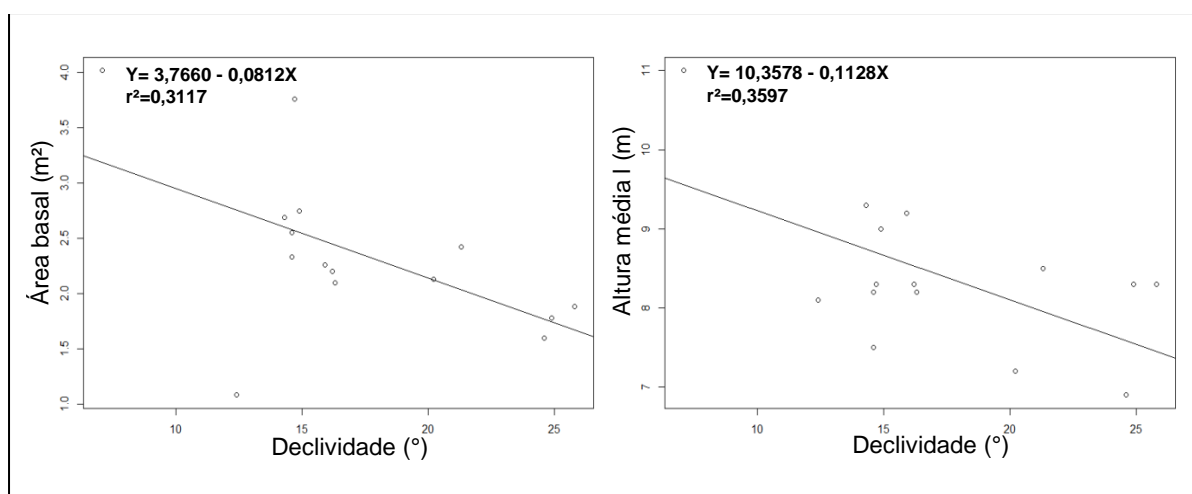


Foram obtidas seis equações de regressão entre a declividade e variáveis de fisionomia e diversidade arbórea. Os valores de  $r^2$  calculados variaram de 0,0007 a 0,3597, já os valores dos coeficientes de correlação variaram de 0,0272 a 0,5997 (Tabela 5). Das seis variáveis estudadas, a declividade influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) duas variáveis de fisionomia (área basimétrica média e altura média) (Figura 22) e nenhuma de diversidade. O valor de  $r^2$  para área basimétrica média foi 0,3117 com  $p = 0,0305$ , já para altura média encontrou-se  $r^2 = 0,3597$  e  $p = 0,0181$ . As regressões significativas de declividade apresentaram correlação negativa entre as variáveis, com  $B1 < 0$ .

Tabela 5. Modelos e parâmetros das regressões com variável independente declividade. (\*) Indica uma relação significativa entre as variáveis dependente e independente ( $p < 0,05$ ), para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.

Modelo	p-valor	r <sup>2</sup>	r	B0	B1
altura média ~ declividade	0,0181*	0,3597	0,5997	10,3578	-0,1128
área basimétrica média ~ declividade	0,0305*	0,3117	0,5583	3,7660	-0,0812
área da planta ~ declividade	0,0790	0,2184	0,4673	14,3931	-0,2639
diversidade ~ declividade	0,2529	0,0992	0,3149	22,0383	-0,3385
abertura do dossel ~ declividade	0,4380	0,0470	0,2167	8,1547	0,0635
riqueza ~ declividade	0,9235	0,0007	0,0272	35,2688	-0,0350

Figura 20. Gráficos gerados a partir dos modelos significativos para declividade (variável independente) e variáveis dependentes de fisionomia e diversidade, para 15 fragmentos em duas paisagens, Pernambuco, Brasil.

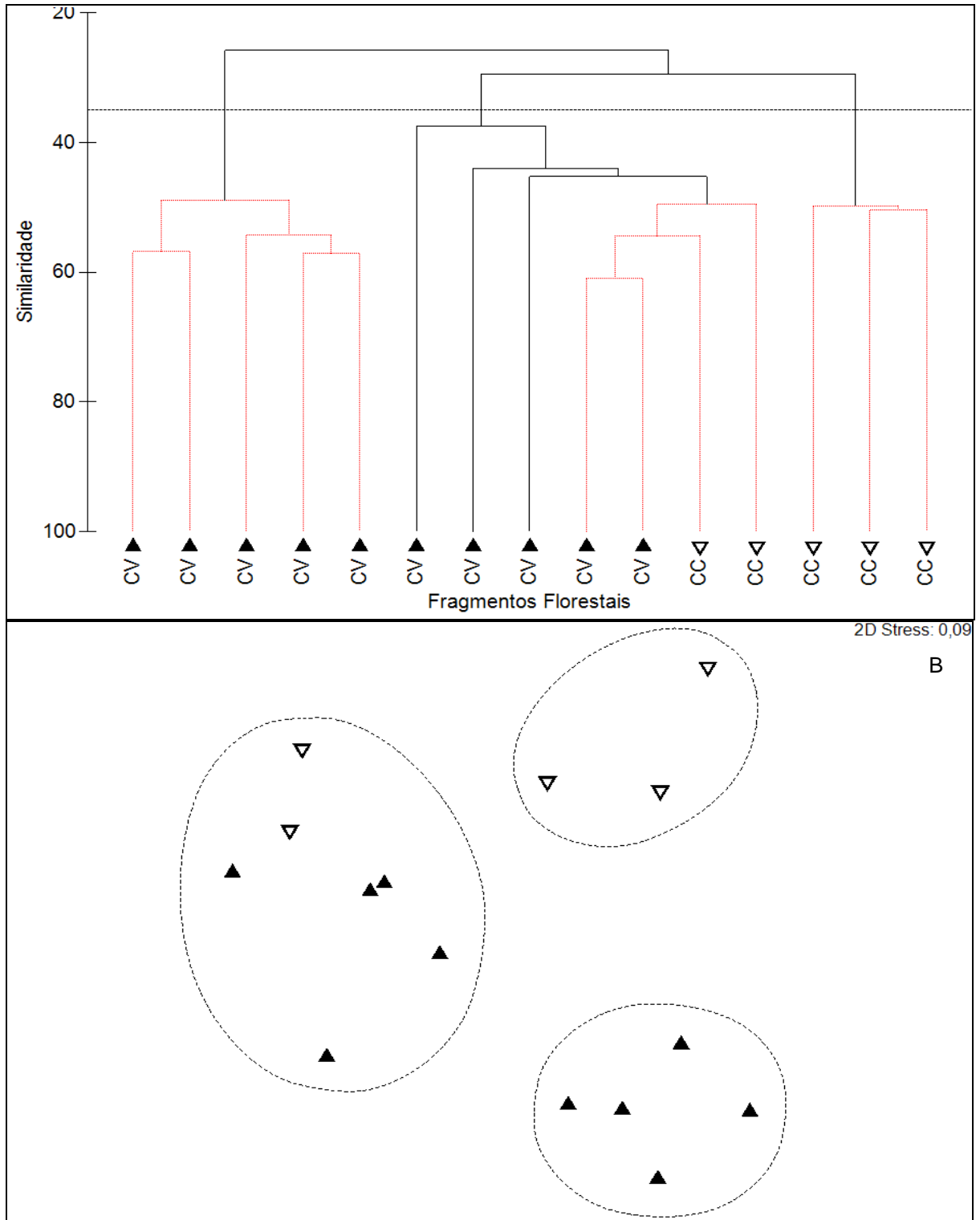


Os fragmentos convexos da Paisagem Sul obtiveram médias maiores de curvatura vertical quando comparados com os da Paisagem Norte, pois estão associados a condições de relevo com distintas rochas de origem. Dessa maneira foi possível criar três grupos de fragmentos quando consideradas as curvaturas verticais (Convexo Norte, Convexo Sul, Côncavo Norte).

A análise de Cluster indicou a formação dos três grupos com similaridade máxima entre fragmentos de 35% e com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) comprovada através do teste SIMPROF. A análise de agrupamento revelou que a assembleia arbórea, quanto à curvatura vertical, apresentou três grupos distintos: fragmentos convexos, fragmentos côncavos e um grupo misto de fragmentos convexos e côncavos (Figura 21). Na paisagem com predominância de rochas de origem sedimentar, foi possível identificar o grupo dos fragmentos côncavos e o grupo misto com fragmentos côncavos e convexos. O grupo de fragmentos convexos, resultante da análise agrupamento, ocorreu exclusivamente na paisagem com predomínio de rochas cristalinas.



Figura 21. Fragmentos florestais classificados pela predominância de áreas de curvatura vertic (A) (A) Agrupamento de fragmentos florestais por análise de CLUSTER sobre o componente arbóreo e (B) sobreposição dos grupos (curvatura vertical) obtidos na análise de cluster sobre o diagrama de ordenação obtido a partir do MDS. Setas para cima de cor preta representam os fragmentos convexos e as setas para baixo de cor branca representam os fragmentos côncavos. Linhas pontilhadas indicam diferenças entre grupos determinada pelo SIMPROF ( $P < 0,05$ ).



#### 4.5 DISCUSSÃO

De maneira geral, as relações existentes entre as variáveis de relevo e as variáveis de fisionomia e diversidade foram altas ( $r > 0,5$ ), de acordo com a classificação do coeficiente de correlação proposta por Hopkins (2000). Isso mostra que o relevo afeta consideravelmente a assembleia arbórea nos fragmentos.

O relevo não afetou a abertura de dossel, diferentemente do relatado por Bispo et al. (2011), na Amazônia, que mostraram que variáveis geomorfométricas podem ser utilizadas para explicar atributos da estrutura florestal tais como abertura de dossel, diâmetro das árvores e altura. Gale (2000), analisando o alto dossel, encontrou uma maior quantidade de clareiras nos topos de morro, além de um maior número de árvores mortas. Vale salientar que em ambientes côncavos existe uma maior competição por luz, pois a topografia e a abertura de dossel criam uma superfície com menor área de incidência luminosa por unidade de área (JARVIS, 2005). O fato de não ter existido uma relação significativa entre as variáveis topográficas e a abertura de dossel provavelmente ocorreu porque deve haver uma compensação, uma vez que as árvores de fundo de vale são mais baixas e mais finas, permitindo maior passagem de luz, mesmo estando em um ambiente com menor exposição solar. O inverso dessa ideia se aplica aos topos de morro, onde existe uma maior exposição à luz, porém as árvores são mais altas e grossas, diminuindo a passagem de luz.

As análises mostraram, ainda, que as variáveis de relevo afetaram a área basimétrica média e altura média das plantas, de forma que regiões com altos valores de declividade tendem a ter um componente arbóreo formado por árvores mais finas e mais baixas. Porém, quando as variações de declividade nos remanescentes são positivas (curvaturas convexas) a tendência é que o padrão se inverta com árvores mais grossas e altas. Assim, remanescentes florestais com valores negativos de curvatura (côncavo) e alta declividade possuem valores mais baixos de altura e área basimétrica média para o componente arbóreo.

A declividade não afetou significativamente a diversidade dos fragmentos, porém a curvatura vertical obteve uma relação positiva muito alta ( $r > 0,7$ ) com a diversidade e alta com a riqueza. Dessa maneira, os remanescentes florestais convexos tendem a uma maior riqueza e diversidade florística. Jarvis (2005) estudando uma paisagem na Floresta Amazônica, encontrou uma correlação

significativa da riqueza de espécies com a curvatura e declividade média, com maior riqueza encontrada em regiões convexas ( $R^2 = 0,73$ ). Webb; Stanfield; Jensen, (1999) numa Floresta tropical úmida do Pacífico Sul, também encontrou uma relação significativa entre a estrutura da floresta e as variáveis topográficas, com uma maior riqueza nos topos de morro, porém nas regiões de fundo de vale as árvores eram mais altas, diferentemente do aqui relatado.

As curvaturas verticais negativas estão associadas a um ambiente de fundo de vale. Esse tipo de habitat assume uma morfologia de relevo com o aspecto de uma bacia hidrográfica. Dessa maneira, a linha principal de drenagem passa aproximadamente no meio do fragmento florestal. Nos trabalhos de campo, foi observado que nos fragmentos predominantemente côncavos existia na região central um ambiente fisicamente distinto, onde foram encontradas algumas plantas exóticas (ex. *Acrocomia aculeata*) e nativas de menor porte. As áreas côncavas estão mais sujeitas à interferência hídrica. Nesses locais, a introdução de propágulos de plantas exóticas pode estar associada com a ocorrência de perturbações antrópicas (RICHARDSON et al., 2007). Esse tipo de fragmento, pelo seu formato, está mais propício ao surgimento de zonas de várzea, principalmente nas épocas com maior concentração de chuva. Como essas linhas de drenagem são intermitentes, essa região central acaba passando sazonalmente por alagamentos.

Os teores nutricionais de solo dessas áreas alagadas são distintos daqueles encontrados nos topos de morro e vertentes (SILVER et al., 1994). Em áreas mais secas, as florestas são mais elevadas nos fundos de vales e em habitats mais úmidos, a vegetação possui maior porte nos cumes. Tal observação demonstra a influência dos teores nutricionais no desenvolvimento das florestas (DETTO et al., 2013).

As condições ambientais de várzeas criam um ecossistema composto principalmente de plantas jovens, com baixa taxa de recrutamento e de sobrevivência, criando um declínio gradual nas populações e, possivelmente, uma perda da diversidade de espécies arbóreas (BERTHELOT et al., 2014). Barddal et al. (2003), avaliou um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial e constatou uma diversidade quase duas vezes menor do que as áreas fora da zona ripária. Dessa maneira, quanto mais distante do curso d'água e menos frequente for o

alagamento, maior será a riqueza esperada de espécies (LITE; BAGSTAD; STROMBERG, 2005; REID; OGDEN; THOMS, 2011).

A similaridade florística avaliada entre fragmentos côncavos e convexos formou um grupo misto de fragmentos, que pode ser explicado por estarem sobre o mesmo tipo de predominância geológica. Diferenças geológicas entre as regiões sul e norte do estado de Pernambuco são observadas pela predominância de unidades com origem e idades distintas. Enquanto a estrutura da paisagem Sul é composta predominantemente pelo Embasamento Cristalino, as paisagens de Floresta Atlântica ao Norte são compostas principalmente por rochas sedimentares (NASCIMENTO; FERREIRA; WILDNER, 2012).

A separação florística entre o grupo de fragmentos côncavos e o grupo convexo pode ser explicada pelas rochas de origem desses fragmentos, pois as unidades geológicas possuem uma alta relação com a variável de relevo curvatura vertical, que está associada a processos de morfogênese, atuando diretamente nos processos de migração e acúmulo de matéria, e principalmente água (VALERIANO, 2008).

#### 4.6 CONCLUSÃO

A geomorfometria predominante explica a estrutura e fisionomia nos fragmentos florestais remanescentes, pois especialmente as variáveis altura média, área basimétrica média, diversidade e riqueza foram afetadas significativamente pela curvatura vertical e declividade.

Além das diversas métricas de paisagem que vêm sendo estudadas para análises de fragmentos e estabelecimento de estratégias para conservação, é fundamental considerar variáveis relacionadas com o relevo, que determinam diferenças na composição, estrutura e fisionomia dos ambientes. Nesse sentido, a curvatura vertical e declividade predominantes nos fragmentos florestais estão relacionadas ao estabelecimento de habitats distintos, como, por exemplo, em locais de curvatura vertical negativa (áreas côncavas) e curvatura positiva (áreas convexas).

Apêndice 1. Lista florística das espécies encontradas em fragmentos côncavos/convexos para as duas paisagens estudadas em Pernambuco-Brasil. Em que: PN - Paisagem Norte; PS - Paisagem Sul; CC - Fragmentos Côncavos; CV - Fragmentos Convexos.

FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	PN CC	PN CV	PS CV
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	x	x	x
	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	x	x	x
Annonaceae	<i>Anaxagorea luzonensis</i> A. Gray	x		
	<i>Annona montana</i> Macfad.	x		
	Annonaceae A			x
	<i>Guatteria pogonopus</i> Mart.			x
	<i>Guatteria schomburgkiana</i> Mart.	x	x	x
	<i>Xylopia frutescens</i> Sieb. ex Presl	x		
Apocynaceae	<i>Himatanthus phagedaenicus</i> (Mart.) Woodson	x	x	x
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerl. & Frodin	x	x	x
Areacaceae	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	x		
	<i>Bactris ferruginea</i> Burret	x	x	
	Arecaceae A			x
Balanophoraceae	<i>Helosis guyanensis</i> Rich.	x		
Boraginaceae	<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	x		x
	<i>Cordia superba</i> Cham.	x	x	
Burseraceae	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchand			x
	<i>Protium giganteum</i> Engl.	x	x	x
	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand		x	x
	<i>Tetragastris catuaba</i> Soares da Cunha		x	
Calophyllaceae	<i>Caraipa densifolia</i> Mart.			x
Celastraceae	<i>Maytenus distichophylla</i> Mart.		x	x
	<i>Maytenus obtusifolia</i> Mart.	x	x	
Chrysobalanaceae	Chrysobalanaceae A		x	
	<i>Licania</i> sp.	x	x	
Clusiaceae	<i>Clusia nemorosa</i> G. Mey.	x	x	
	<i>Symphonia globulifera</i> L. f.			x
	<i>Tovomita brevistaminea</i> Engl.			x
Combretaceae	<i>Buchenavia tetraphylla</i> (Aubl.) R.A. Howard	x	x	x
Crysobalanaceae	<i>Couepia rufa</i> Ducke	x		
	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.		x	
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.		x	x
Erythroxylaceae	<i>Chaetocarpus myrsinites</i> Baill.	x	x	x
	<i>Erythroxylum citrifolium</i> A. St.-Hil.		x	
	<i>Erythroxylum squamatum</i> Sw.			x
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.			x
	<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers ex Benth.	x	x	x
	<i>Phyllanthus gradyi</i> M. J. Silva & M. F. Sales			x
	<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax	x		

<b>Fabaceae</b>	<i>Abarema</i> sp.	x	x	
	<i>Albizia pedicellaris</i> (DC.) L. Rico	x	x	x
	<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	x		
	<i>Andira nitida</i> Mart.		x	
	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	x	x	
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	x	x	
	<i>Chamaecrista</i> sp.		x	x
	<i>Dialium guianense</i> Willd.			x
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	x		
	<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	x	x	x
	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.			x
	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	x	x	x
	<i>Inga</i> sp1		x	
	<i>Inga</i> sp2			x
	<i>Inga</i> sp3			x
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	x		
	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.			x
	<i>Plathymentia foliolosa</i> Benth.	x	x	
	<i>Plathymentia reticulata</i> Benth.		x	
	<i>Pterocarpus violaceus</i> Vogel	x	x	
	<i>Sclerolobium densiflorum</i> Benth.		x	x
	<i>Swartzia pickelii</i> Killip ex Ducke	x	x	
<i>Fabaceae</i> A		x		
<i>Fabaceae</i> B		x	x	
<b>Humiriaceae</b>	<i>Sacoglottis mattogrossensis</i> Malme	x	x	
<b>Hypericaceae</b>	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.	x		x
<b>Lauraceae</b>	<i>Ocotea divaricata</i> (Nees) Mez			x
	<i>Ocotea gardneri</i> (Meisn.) Mez		x	
	<i>Ocotea glomerata</i> (Nees) Mez			x
	<i>Ocotea limae</i> Vattimo-Gil		x	
	<i>Ocotea</i> sp1			x
	<i>Ocotea</i> sp2			x
<b>Lecythidaceae</b>	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	x	x	x
	<i>Gustavia augusta</i> L.	x		x
	<i>Lecythis</i> sp.			x
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	x	x	x
<b>Malpighiaceae</b>	<i>Byrsonima sericea</i> DC.	x	x	x
	<i>Byrsonima stipulacea</i> A. Juss.			x
<b>Malvaceae</b>	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	x		
	<i>Eriotheca crenulaticalyx</i> A. Robyns		x	
	<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns		x	x
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	x		
	<i>Henriettea succosa</i> (Aubl.) DC.	x	x	x
	<i>Luehea paniculata</i> Mart.	x	x	

<b>Melastomataceae</b>	<i>Miconia affinis</i> DC.	x		x
	<i>Miconia globulifera</i> Naudin			x
	<i>Miconia hypoleuca</i> (Benth.) Triana		x	x
	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	x	x	x
	<i>Miconia piperifolia</i> Triana		x	
	<i>Miconia pirifolia</i> Naud.			x
	<i>Miconia prasina</i> (Sw.) DC.	x	x	x
	<i>Miconia tomentosa</i> (Rich.) D. Don ex DC.			x
	<i>Miconia</i> sp1			x
	<i>Miconia</i> sp2		x	
<b>Meliaceae</b>	<i>Trichilia lepidota</i> Mart.	x	x	
<b>Moraceae</b>	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	x		
	<i>Brosimum discolor</i> Schott		x	
	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	x	x	x
	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.		x	x
	<i>Ficus</i> sp.		x	
	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby		x	x
	<i>Sorocea hilarii</i> Gaudich.	x		x
<b>Myristicaceae</b>	<i>Virola gardneri</i> (A. DC.) Warb.			x
<b>Myrtaceae</b>	<i>Calyptranthes</i> sp.			x
	<i>Campomanesia dichotoma</i> (O. Berg) Mattos	x		
	<i>Eugenia</i> sp.			x
	<i>Eugenia umbrosa</i> O. Berg			x
	<i>Myrcia bergiana</i> O. Berg		x	
	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.		x	x
	<i>Myrcia racemosa</i> Barb. Rodr.		x	
	<i>Myrcia rostrata</i> DC.		x	
	<i>Myrcia</i> sp1	x		
	<i>Myrcia</i> sp2			x
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	x		x
	<i>Myrcia sylvatica</i> (G. Mey.) DC.	x	x	x
	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC		x	
	<i>Psidium guajava</i> L.	x		
	Myrtaceae A		x	
	Myrtaceae B		x	
	Myrtaceae C			x
Myrtaceae D		x		
<b>Nyctaginaceae</b>	<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan.	x	x	
	<i>Guapira nitida</i> (J.A. Schmidt) Lundel	x		
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz		x	x
<b>Ochnaceae</b>	<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	x	x	
	<i>Ouratea</i> sp.	x		
<b>Peraceae</b>	<i>Pera ferruginea</i> (Schott) Müll. Arg.	x	x	x
<b>Phyllanthaceae</b>	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão			x

<b>Polygonaceae</b>	<i>Coccoloba latifolia</i> Lam.	x		
	<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	x	x	
	<i>Coccoloba perimesis</i>	x		
	<i>Coccoloba</i> sp.	x		
<b>Primulaceae</b>	<i>Rapanea guianensis</i> Aubl.	x		
<b>Rubiaceae</b>	<i>Alseis pickelii</i> Pilger & Schmale	x	x	
	<i>Psychotria carthagenensis</i> Jacq.	x	x	
	<i>Rubiaceae</i> A			x
	<i>Rubiaceae</i> B		x	
<b>Salicaceae</b>	<i>Casearia javitensis</i> Kunth	x	x	x
<b>Sapindaceae</b>	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl	x		
	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.			x
	<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	x		
	<i>Cupania racemosa</i> (Vell.) Radlk.		x	x
	<i>Cupania</i> sp.	x		
	<i>Talisia</i> sp.		x	
	<i>Sapindaceae</i> A		x	
	<i>Sapindaceae</i> B			x
<i>Sapindaceae</i> C	x			
<b>Sapotaceae</b>	<i>Chrysophyllum splendens</i> Spreng.		x	
	<i>Manilkara</i> sp.		x	
	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D. Penn.	x	x	x
	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni		x	
	<i>Pouteria grandiflora</i> (A. DC.) Baehni	x	x	
	<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.		x	
	<i>Pouteria</i> sp1		x	
	<i>Pouteria</i> sp2			x
<b>Schoepfiaceae</b>	<i>Schoepfia brasiliensis</i> A. DC.	x	x	x
<b>Simaroubaceae</b>	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	x		x
<b>Urticaceae</b>	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	x		
	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.			x
<b>Violaceae</b>	<i>Paypayrola blanchetiana</i> Tul.	x		
<b>Indeterminada</b>	Indeterminada 01		x	
	Indeterminada 02			x
	Indeterminada 03		x	
	Indeterminada 04		x	
	Indeterminada 05			x
	Indeterminada 06			x



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES-ARAUJO, A. ; ARAÚJO, D. A. DE ; MARQUES, J. ; MELO, A. ; MACIEL, J. R. ; PONTES, T. A. ; LUCENA, M. F.; BOCAGE, A. ; ALVES, M. Diversity of Angiosperms in fragments of Atlantic Forest in the state of Pernambuco, Northeastern Brazil. **Bioremediation, Biodiversity & Bioavailability**, v. 2, p. 14-26, 2008.

ANDERSSON, J. O.; NYBERG, L. Spatial variation of wetlands and flux of dissolved organic carbon in boreal headwater streams. **Hydrological Processes**, v. 22, n. December 2007, p. 1965–1975, 2008.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; PINEDA, E.; ESCOBAR, F.; BENITES-MALVIDO, J. Value of small patches in the conservation of plant-species diversity in highly fragmented rainforest. **Conservation Biology**, v. 23, n. 3, p. 729–39, 2009.

BAND, L. E. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, v. 22, n. 1, p. 15, 1986.

BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, p. 37–50, 2003.

BASTIAN, O.; GRUNEWALD, K.; SYRBE, R. U.; WALZ, U.; WENDE, W. Landscape services: the concept and its practical relevance. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 9, p. 1463–1479, 2014.

BERTHELOT, J. S.; SAINT-LAURENT, D.; GERVAIS-BEAULAC, V.; SAVOIE, D. Assessing the Effects of Periodic Flooding on the Population Structure and Recruitment Rates of Riparian Tree Forests. **Water**, v. 6, n. 9, p. 2614-2633, 2014.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. D. M.; KUPLICH, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 523–530, 2010.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; SANTOS, J. R.; GRAÇA, P. M. L. A. Abordagem canônica para análise da geomorfometria local e de atributos estruturais em floresta tropical. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011. p. 2004-2011.

BODIN, Ö.; TENGÖ, M.; NORMAN, A.; LUNDBERG, J.; ELMQVIST, T. The Value Of Small Size: Loss Of Forest Patches And Ecological Thresholds In Southern Madagascar. **Ecological Applications**, v. 16, n. 2, p. 440–451, 2006.

BOHRER, C. B. A.; FIORAVANTE, H.; OLIVEIRA, L. C.; FARIA, C. P.; SILVA, A. L. G. **Desenvolvimento de um Sistema de Informações Espaciais Ambientais e Sócio-Econômicas para a Amazônia Legal - SIG-AML**. In: VIII Seminário de Acompanhamento Nemesis / I Seminário de Estudos Regionais e Urbanos, FEA/FGV/NEMESIS, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2001.

BOSCOLO, D. **Influência da estrutura da paisagem sobre a persistência de três espécies de aves em paisagens fragmentadas da mata atlântica**. 2007. 237 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BOSCOLO, D.; METZGER, J. P. Is bird incidence in Atlantic forest fragments influenced by landscape patterns at multiple scales? **Landscape Ecology**, v. 24, n. 7, p. 907–918, 2009.

CAPON, S. J. Flood variability and spatial variation in plant community composition and structure on a large arid floodplain. **Journal of Arid Environments**, v. 60, p. 283–302, 2005.

CHASE, M. W.; REVEAL, J. L. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. Table 1, p. 122–127, 2009.

COTTAM, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, v. 37, p. 451–460, 1956.

CPRH (Companhia Pernambucana do Meio Ambiente). **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. Recife: [s.n.]. 2003a.

CPRH (Companhia Pernambucana do Meio Ambiente). **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Sul de Pernambuco**. Recife: [s.n.]. 2003b.

CRK, T.; URIARTE, M.; CORSI, F.; FLYNN, D. Forest recovery in a tropical landscape: What is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables? **Landscape Ecology**, v. 24, p. 629–642, 2009.

DETTO, M.; MULLER-LANDAU, H. C.; MASCARO, J.; ASNER, G. P. Hydrological Networks and Associated Topographic Variation as Templates for the Spatial Organization of Tropical Forest Vegetation. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, 2013.

DORNER, B.; LERTZMAN, K.; FALL, J. Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis. **Landscape Ecology**, v. 17, p. 729–743, 2002.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487–515, 2003.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V.; PEREIRA, R. D. C. A. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, n. 1, p. 7-15, 1998.

FRAZER, G.; CANHAM, C.; LERTZMAN, K. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. **Program**, p. 36, 1999.

FREITAS, S. R.; TEIXEIRA, A. M. G.; METZGER, J. P. Study of the relationship between roads, relief, land use, and natural vegetation in the Ibiuna Plateau-SP, focusing on landscape ecology. **NATUREZA & CONSERVACAO**, v. 7, n. 2, p. 136, 2009.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2010-2011, dados parciais dos estados avaliados até maio de 2011. p. 1–61, 2013.

GALE, N. The Relationship between Canopy Gaps and Topography in a Western Ecuadorian Rain Forest. **BIOTROPICA**, v. 32, p. 653–661, 2000.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**, p. 3–11, 2005.

GRASS DEVELOPMENT TEAM. **GRASS GIS 6.4 Manual**. Disponível em: <<http://grass.osgeo.org/documentation/manuals/>>. Acesso em: 12 maio 2014.

GROHMANN, C. H. Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 9-10, p. 1055–1067, 2004.

GUILHERME, F. A. G.; FERREIRA, T. O.; ASSIS, M. A.; TORRADO, P. V.; MORELLATO, L. P. C. Soil profile , relief features and their relation to structure and distribution of Brazilian Atlantic rain forest trees. **Scientia Agrícola**, v. 69, n. 1, p. 61-69, 2012.

HARGIS, C. D.; BISSONETTE, J. A.; DAVID, J. L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology**, v. 13, n. 3, p. 167–186, 1998.

HELFENSTEIN, J.; BAUER, L.; CLALÜNA, A.; BOLLIGER, J.; KIENAST, F. Landscape ecology meets landscape science. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 1109–1113, 2014.

HERNÁNDEZ-RUEDAS, M. A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MEAVE, J. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; IBARRA-MANRÍQUEZ, G.; MARTÍNEZ, E.; JAMANGAPE, G.; MELO, F. P. L.; SANTOS, B. A. Conserving tropical tree diversity and forest structure: the value of small rainforest patches in moderately-managed landscapes. **PloS one**, v. 9, n. 6, p. e98931, 2014.

HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 20, n. 1-2, p. 5–19, 1999.

HOECHSTETTER, S.; WALZ, U.; DANG, L. H.; THINH, N. X. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure - A proposal to modify the existing set of landscape metrics. **Landscape Online**, v. 3, p. 1–14, 2008.

HOFER, G.; WAGNER, H. H.; HERZOG, F.; EDWARDS, P. J. Effects of topographic variability on the scaling of plant species richness in gradient dominated landscapes. **Ecography**, v. 31, n. 1, p. 131–139, 2008.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 271 p.

JARVIS, A. J. **Terrain controls on the distribution of tree species diversity and structure in tropical lowland and tropical montane forest**. Thesis PhD, University of London, 2005.

JONES, R. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. **Computers and Geosciences**, v. 28, p. 1051–1060, 2002.

KEELAND, D.; SHARITZ, R. R. The Effects of Water-Level Fluctuations on Weekly Tree Growth in a Southeastern USA Swamp. **American Journal of Botany**, p. 131–139, 1997.

Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM-UFPE). **Macrozoneamento Costeiro do Litoral de Pernambuco. Folha Itamaracá (SB.25-Y-C-VII)**. Recife: [s.n.]. 1992.

LEITÃO, A. B.; MILLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. **Measuring Landscapes: A Planner's Handbook**. Island Press, Washington USA, 2006.

LITE, S. J.; BAGSTAD, K. J.; STROMBERG, J. C. Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 63, p. 785–813, 2005.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a Diversidade Biológica**. Curitiba: UFPR, 2011. 261p.

MELLO, T. F. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quase-florestas de São Luiz do Paraitinga (SP)**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens. **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2001.

MITTERMIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREAUX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots revisited**. México: CEMEX, S.A. de C. V., 2005. 392p.

MOODY, A.; MEENTEMEYER, R. K. Environmental factors influencing spatial patterns of shrub diversity in chaparral, Santa Ynez Mountains, California. **Journal of Vegetation Science**, v. 12, n. 1993, p. 41–52, 2001.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–8, 2000.

NASCIMENTO, M. A. L.; FERREIRA, R. V.; WILDNER, W. **GEOPARQUE LITORAL SUL DE PERNAMBUCO (PE)**, 2012. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/litoralsuldepernambuco.pdf>>. Acesso em: 14 abril 2014.

NIELSEN, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; WESTPHAL, C.; MESSINGER, O.; POTTS, S. G.; ROBERTS, S. P.; SETTELE, J.; SZENTGYÖRGYI, H.; VAISSIERE, B. E.; VAITIS, M.; WOYCIECHOWSKI, M.; BAZOS, I.; BIESMEIJER, J. C.; BOMMARCO, R.; KUNIM, W. E.; TSCHEULIN, T.; LAMBORN, E.; PETANIDOU, T. Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: importance of habitat type and sampling techniques. **Ecological Research**, v. 26, n. 5, p. 969–983, 2011.

O'NEILL, R. V.; KRUMMEL, J. R.; GARDNER, R. E. A.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B.; DEANGELIS, D. L.; MILNE, B. T.; TURNER, M. G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S. W.; DALE, V. H.; GRAHAM, R. L. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 3, p. 153–162, 1988.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; CARVALHO, D. A.; GAVILANES, M. L. Effects of soils and topography on the distribution of tree species in a tropical riverine forest in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 04, p. 483-508, 1994.

PARDINI, R.; DE SOUZA, S. M.; BRAGA-NETO, R.; METZGER, J. P. The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in an Atlantic forest landscape. **Biological Conservation**, v. 124, n. 2, p. 253–266, 2005.

PEREIRA, C. B. **Ecologia de algas formadoras de turfos nos recifes dos Abrolhos, BA, Brasil**. 2006. 47 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro / Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro. 2006.

PEZESHKI, S. R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, p. 299–312, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Austria, 2014. Disponível em:<<http://www.r-project.org>> Acesso em: 13 maio 2014.

RANTA, P.; BLOM, T. O. M.; NIEMELA, J.; JOENSUU, E.; SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, n. 3, p. 385–403, 1998.

REID, M. A.; OGDEN, R.; THOMS, M. C. The influence of flood frequency, geomorphic setting and grazing on plant communities and plant biomass on a large dryland floodplain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 9, p. 815–826, 2011.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

RICHARDSON, D. M.; HOLMES, P. M.; ESLER, K. J.; GALATOWITSCH, S. M.; STROMBERG, J. C.; KIRKMAN, S. P.; PYSEK, P.; HOBBS, R. J. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. **Diversity and Distributions**, v. 13, p. 126–139, 2007.

RIERA, J. L.; MAGNUSON, J. J.; CASTLE, J. R. V.; MACKENZIE, M. D. Analysis of Large-Scale Spatial Heterogeneity in Vegetation Indices among North American Landscapes. **Ecosystems**, v. 1, n. 3, p. 268–282, 1998.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P. M.; STELLA, J. C.; CAMPELO, F.; FERREIRA, M. T.; ALBUQUERQUE, A. Subsidy or stress? Tree structure and growth in wetland forests along a hydrological gradient in Southern Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 2010, p. 2015–2025, 2010.

RUGGIERO, P. G. C.; PIVELLO, V. R.; SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E.; PIRES NETO, A. G. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos? **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 2, p. 383–394, 2006.

SATTLER, D.; MURRAY, L. T.; KIRCHNER, A.; LINDNER, A. Influence of soil and topography on aboveground biomass accumulation and carbon stocks of afforested pastures in South East Brazil. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 126–131, 2014.

SILVA, J. M. C.; CASTELETI, C. H. M. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: **Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas** (Galindo-Leal, C.; Câmara, I. G., eds.). Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo, p. 43-59, 2005.

SILVA, W. G. D.; METZGER, J. P.; BERNACCI, L. C.; CATHARINO, E. L. M.; DURIGAN, G.; SIMÕES, S. Relief influence on tree species richness in secondary forest fragments of Atlantic Forest, SE, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 589-598, 2008.

SILVA, W. G.; METZGER, J. P.; SIMÕES, S.; SIMONETTI, C. Relief influence on the spatial distribution of the Atlantic Forest cover on the Ibiúna Plateau, SP. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 3, p. 403-411, 2007.

SILVER, W. L.; SCATENA, F. N.; JOHNSON, A. H.; SICCAMI, T. G.; SANCHEZ, M. J. Nutrient availability in a montane wet tropical forest: Spatial patterns and methodological considerations. **Plant and Soil**, v. 164, p. 129–145, 1994.

SUGANUMA, M. S.; TOREZAN, J. M. D.; CAVALHEIRO, A. L.; VANZELA, A. L. L.; BENATO, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Revista Árvore**, v. 32, p. 377–385, 2008.

TEIXEIRA, A. M. G.; SOARES-FILHO, B. S.; FREITAS, S. R.; METZGER, J. P. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1219–1230, 2009.

TRINDADE, M. B.; LINS-E-SILVA, A. C. B.; SILVA, H. D.; FIGUEIRA, S. B.; SCHESSL, M. Fragmentation of the Atlantic Rainforest in the northern coastal region of Pernambuco, Brazil: recent changes and implications for conservation. **Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability**, v. 2, p. 5-13, 2008.

TURNER, M. G. LANDSCAPE ECOLOGY: What Is the State of the Science? **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, n. 1, p. 319–344, 2005.

UEZU, A.; METZGER, J. P.; VIELLIARD, J. M. E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. **Biological Conservation**, v. 123, n. 4, p. 507–519, 2005.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

WEBB, E. L.; STANFIELD, B. J.; JENSEN, M. L. Effects of topography on rainforest tree community structure and diversity in American Samoa, and implications for frugivore and nectarivore populations. **Journal of Biogeography**, p. 887–897, 1999.

WILSEY, B. J.; MARTIN, L. M.; POLLEY, H. W. Predicting plant extinction based on species-area curves in prairie fragments with high beta richness. **Conservation Biology**, v. 19, p. 1835–1841, 2005.

WONDZELL, S. M.; CUNNINGHAM, G. L.; BACHELET, D. Relationships between landforms, geomorphic processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. **Landscape Ecology**, v. 11, n. 6, p. 351–362, 1996.

WU, J. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 1, p. 1–11, 2012.

ZOLLNER, P.; LIMA, S. Illumination and the perception of remote habitat patches by white-footed mice. **Animal behaviour**, v. 58, p. 489–500, 1999.