

Pluviosidade no Parque Nacional do Catimbau (Pernambuco): seus Condicionantes e seus Efeitos sobre a Paisagem

Pluviosity in Catimbau National Park (Pernambuco): Its Determinants and their effects on the Landscape

Lucas Costa de Souza Cavalcanti¹

Antonio Carlos de Barros Corrêa²

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo caracterizar o regime de pluviosidade do Parque Nacional do Catimbau, investigando também seus condicionantes e sua influência sobre a fenologia das plantas na referida Unidade de Conservação. A pluviosidade foi inferida por geoestatística, enquanto a fenologia foi obtida por detecção de mudanças entre imagens NDVI dos meses de março e outubro de 2001. Em seguida foram elaborados gráficos de dispersão para correlacionar pluviosidade e altitude e pluviosidade e NDVI. O estudo mostrou uma correlação de 93% entre altitude e pluviosidade na borda do Parque. A pluviosidade teve influência de 85% sobre as mudanças intra- anuais do NDVI. Contudo, este último resultado só teve validade em áreas pouco modificadas pela ação humana.

PALAVRAS-CHAVE: Regime de pluviosidade. Fatores geográficos do clima. Fenologia.

ABSTRACT: *This study aimed to characterize the rainfall regime of the Catimbau National Park, also investigating their conditions and their influence on plant phenology. Rainfall was inferred by geostatistics, while phenology was obtained by change detection techniques using NDVI for March and October 2001. Then scatter plots were developed to correlate rainfall and altitude and rainfall and NDVI. The study showed a correlation of 93% between altitude and rainfall on the edge of the Park. The influence of rainfall was 85% on intra-annual changes of NDVI. However, this last result only had validity in areas with little human action.*

KEY WORDS: *Rainfall. Geographical factors of climate. Plant phenology.*

INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores envolvidos na diferenciação físico-geográfica é o clima, correspondendo ao regime habitual da atmosfera numa determinada região. Geralmente o fator climático é avaliado a partir de critérios como as médias de temperatura e pluviosidade (KOTTEK et al., 2006), algumas vezes incluindo a radiação solar incidente, soma das temperaturas ativas, índices de umidade e continentalidade (ISACHENKO, 1991) e a evapotranspiração potencial (FEDDEMA, 2005).

¹ Geógrafo, Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Professor Assistente da Universidade de Pernambuco, *Campus* Petrolina. Colegiado de Geografia. Universidade de Pernambuco. *Campus* III – Petrolina. Rodovia BR 203, Km 2 - Vila Eduardo, Petrolina - PE, 56328-903. Fone: (87) 3866-6492. lucas.cavalcanti@upe.br

² Geógrafo, Pós-Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Professor Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Ciências Geográficas, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901 | Fone PABX: (81) 2126.8000. dbiase2001@terra.com.br

Apesar da utilização de médias climáticas já terem sido bastante criticadas por geógrafos (MONTEIRO, 1976, 2003) e ecólogos (HOLDRIDGE, 1947, 1966), sobretudo por não serem adequadas à representação de aspectos dinâmicos da paisagem, elas têm demonstrado bastante utilidade para suportar projeções de mudanças climáticas, tanto mudanças futuras como destacam (KOTTEK et al., 2006), como para mudanças pretéritas, a exemplo das médias de paleotemperaturas derivadas dos isótopos de oxigênio (SILVA, 2013).

Na verdade, é preciso que se reconheçam os limites e o potencial dos dados, sabendo-se que um mesmo conjunto de dados pode ser fundamental para determinados tipos de análise e, ao mesmo tempo, insuficiente para a resolução de outros tipos de problema. Neste sentido, concordamos com Nóbrega (2010), quando este afirma que as classificações climáticas, apesar de suas limitações, possuem valor para determinadas questões.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo investigar os condicionantes sobre o regime de pluviosidade e seus efeitos sobre a dinâmica intra-anual da paisagem do Parque Nacional do Catimbau. Para tanto, baseou-se nas hipóteses da altitude como fator geográfico determinante na distribuição das isoietas da referida Unidade de Conservação e da influência da trajetória anual da pluviosidade na fenologia das plantas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil, o termo geoeecologia tem sido associado ao estudo das paisagens, sobretudo a partir de uma perspectiva focada nos processos naturais (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007). Outros termos que poderiam ser considerados como sinônimos incluem ecologia de paisagens, ecogeografia, geografia ecológica, ciência da paisagem, estudo de geossistemas, entre outros.

De um ponto de vista epistemológico, a geoeecologia tem desenvolvido três enfoques principais: estrutural, funcional e evolutivo (CAVALCANTI, 2014). O enfoque estrutural preocupa-se com a composição e distribuição espacial das paisagens (geossistemas) e seus condicionantes. Do ponto de vista funcional, a geoeecologia preocupa-se com as variações periódicas da paisagem, ligadas à fenologia e sazonalidade. Por fim, o aspecto evolutivo enfatiza as mudanças na estrutura e no funcionamento da paisagem.

O estudo dos aspectos funcionais (principalmente àqueles relativos às variações intra-anuais) da paisagem tem ganhado destaque no Brasil principalmente através da Climatologia Geográfica (ZAVANTTINI; BOIN, 2013). Em outros países, como no caso dos

centros de pesquisa influenciados pelos teóricos das línguas eslavas, o estudo da sazonalidade dentro da geoeologia foi considerado como uma revolução na década de 1960, liderada por Viktor Sochava e os programas para monitoramento da paisagem desenvolvidos em países da antiga União Soviética (CAVALCANTI; CORRÊA, 2014).

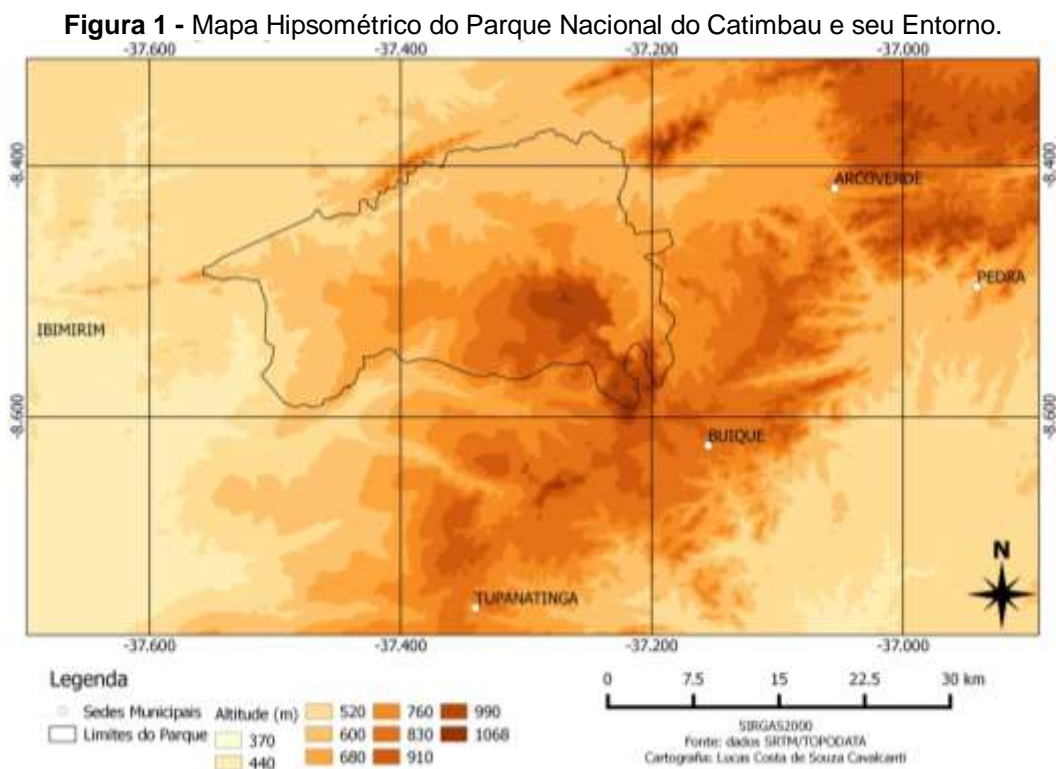
Embora algumas destas estações de monitoramento permanente tenham sido fechadas após o declínio da União Soviética, os princípios dos estudos intra-anuais e até diários e intra-diários da paisagem não perderam seu vigor e ainda dão a tônica ciência paisagem em muitos centros de pesquisa euro-asiáticos (DYAKONOV, 2007). No âmbito dos estudos intra-anuais paisagem, a fenologia se destaca como um campo auxiliar da Geografia para o entendimento do ritmo natural ao longo de um ano (ISACHENKO, 2004). Ela trata das variações intra-anuais no comportamento dos animais e nas fases das plantas ou *fenofases* (floração, frutificação, crescimento e queda de folhas, etc.), muitas vezes ocorrendo em estreita dependência das características climáticas (épocas de chuva, seca e etc.) (ZUCHKOVA; RAKOVSKAIA, 2004).

No caso do Nordeste brasileiro, um aspecto a ser estudado acerca da fenologia e das variações intra-anuais das paisagens é a influência indireta de fatores climáticos, a exemplo da altitude. É sabido que a altitude desempenha um papel crucial nos padrões climáticos de uma determinada localidade. Este trabalho se debruça sobre uma série de questões referentes a esse aspecto da climatologia meso-regional do semiárido brasileiro e seu condicionamento sobre padrões fenológicos. Acredita-se que este estudo possa contribuir para um melhor entendimento sobre as variações intra-anuais das paisagens do Nordeste brasileiro.

METODOLOGIA

Área de estudo

O Parque Nacional do Catimbau fica localizado na região Nordeste do Brasil, no sertão de Pernambuco, abrangendo parte dos municípios de Buíque, Tupanatinga e Ibimirim. É considerada uma área de grande endemismo e valor ecológico, cênico e arqueológico (CORRÊA; CAVALCANTI; LIRA; 2015). Considerando o entorno da unidade de conservação, as altitudes variam entre 370m e 1068m (Fig. 1). A diferença altimétrica provoca uma série de variações nas paisagens, algumas das quais serão tratadas aqui.



Fonte: os autores.

No contexto do semiárido brasileiro, onde a temperatura média anual apresenta-se, geralmente, quente (média anual superior a 18°C) e apenas ocasionalmente moderada (abaixo de 18°C), a distribuição do regime hidrológico é um fator decisivo na diversificação das paisagens, variando de acordo com os valores de precipitação e o modo como a água precipitada é aproveitada pelos geossistemas. Aqui, buscou-se a visualização dos setores mais e menos úmidos na área de estudo, sendo realizada uma estimativa espacial de médias históricas de precipitação. O objetivo foi reunir informação inicial acerca da distribuição espacial e temporal das entradas, armazenamento e saídas de água na paisagem.

Por estimativa espacial entende-se a aplicação de métodos de interpolação para inferência de superfícies a partir de pontos conhecidos. Em outras palavras, a interpolação compreende um procedimento matemático, algorítmico, que busca o ajuste de uma função à pontos não amostrados, baseando-se em pontos já amostrados (FELGUEIRAS, 2001; LANDIM, 2000). Para tanto, cria-se uma *grade regular* de pontos inferidos estatisticamente a partir dos pontos conhecidos e, em seguida, são traçadas curvas de igual valor (isolinhas).

Neste trabalho, os valores históricos de precipitação de 24 postos pluviométricos ao redor do Parque (Tab. 1) foram salvos num arquivo separado por vírgulas (.csv), utilizando o *Microsoft Excel*, e em seguida transformados num arquivo vetorial de pontos, através da função 'adicionar uma camada a partir de um texto delimitado' do programa

Quantum GIS 1.8. A partir disso, foi realizada a estimativa espacial dos valores de precipitação utilizando o método do Inverso Ponderado da Distância (*Inverse Distance Weighting - IDW*), que estima valores para pontos desconhecidos a partir da soma ponderada dos valores de N pontos conhecidos, tendo sido escolhido por não estimar valores maiores ou menores que os dados originais (LANDIM, 2000), o IDW é definido na equação a seguir:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1)$$

onde Z é o valor interpolado para o nó da grade, Z_i é o valor do ponto amostrado vizinho ao nó, h_{ij} é a distância entre o nó da grade e Z_i , β é o expoente de ponderação e n o número de pontos amostrados utilizados. Para a interpolação foi utilizado o valor de potência 4, por ser aquele de menor ordem que apresentou maior suavidade das superfícies estimadas.

Tabela 1 - Dados Climáticos da Região do Parque Nacional do Catimbau.

Posto Pluviométrico	Lat.	Long.	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Tempo de observação (anos)
Algodões	-8,316	-37,35	507	507,20	24,00	52
Amaro	-8,76	-37,05	475	448,40	23,90	25
Arcoverde 1	-8,43	-37,06	663	590,50	22,50	62
Arcoverde 2	-8,416	-37,05	663	756,60	22,60	10
Brejo de São José	-8,516	-37,2	655	629,90	22,70	19
Brejo do Pioré	-8,616	-37,53	470	463,60	24,30	26
Buíque	-8,616	-37,16	798	1100,10	21,60	54
Cachoeira do Leite	-8,183	-37,916	480	625,60	24,60	27
Caiçara	-8,35	-37,75	500	539,40	24,40	28
Carualina	-8,3	-37,583	470	556,30	24,50	22
Cimbres	-8,35	-36,85	850	853,20	21,00	24
Henrique Dias 1	-8,283	-37,183	510	392,50	23,90	22
Henrique Dias 2	-8,25	-37,16	510	352,80	23,90	19
Jeritacó	-8,383	-37,63	445	592,30	24,70	53
Moderna	-8,43	-37,416	525	509,00	23,90	28
Moxotó	-8,716	-37,53	431	458,80	24,60	53
Pedra	-8,5	-36,96	660	756,10	22,50	49
Poço da Cruz	-8,5	-37,73	450	591,90	23,40	22
Poço do Alexandre	-8,666	-37,866	610	553,30	24,60	28
Ponta da Vargem	-8,583	-37,316	680	480,40	22,60	27
Salobro	-8,616	-36,7	793	565,30	21,20	27
Tara	-8,733	-36,86	586	479,30	22,90	48
Tupanatinga	-8,75	-37,35	709	928,90	22,30	27
Xilili	-8,4	-37,216	630	558,40	23,00	26

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 150).

Condicionantes sobre a precipitação

Após a determinação das isoietas, buscou-se evidenciar possíveis condicionantes sobre a distribuição espacial do regime de chuvas. Neste caso, verificou-se preferencialmente a influência da altitude sobre a precipitação, sobretudo em função das variações altimétricas no contraste entre o *Horst Buíque* (CAVALCANTI, 2013) e o sistema de hemigrábens³ que o margeiam, rebaixando-se consecutivamente para oeste.

Para tanto, os valores de ambas as variáveis foram plotados num diagrama de dispersão e, em seguida, determinou-se a tendência de distribuição dos dados, indicadas pelo menor ajuste quadrado através dos pontos, utilizando-se a técnica de regressão polinomial. Esta técnica estatística retorna um valor (R^2) referente à tendência geral de distribuição dos dados, caracterizando um *coeficiente de determinação* entre os valores dos eixos x e y, sendo expressa pela seguinte fórmula:

$$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6 \quad (2)$$

onde b e $c_1...c_6$ são constantes.

Uma ressalva importante é que o *raster* de precipitação precisou ser reamostrado para ficar com o valor de célula (*pixel*) igual ao da imagem de Altitude, de outra forma, a quantidade de pontos gerada pela criação do perfil seria diferente entre as imagens, impossibilitando a correlação.

Efeito da precipitação sobre a fenologia

Sabe-se que a resposta fenológica é sensível a diversas características do ambiente, como a textura do substrato, a duração e intensidade do período chuvoso, a topografia, a altitude, entre outras. Este conhecimento pode ser usado para identificar diferentes tipos de interações entre os elementos naturais num dado local, auxiliando na identificação da cobertura da terra e no consequente mapeamento dos geossistemas.

Neste sentido, o uso de geotecnologias para o estudo fenológico das plantas tem se tornado comum na literatura geográfica mundial, sobretudo através do processamento digital de imagens de satélite. O realce das imagens a partir da transformação de seus Números Digitais (DN) em índices de vegetação e avaliação de uma

³ A borda da Bacia Sedimentar do Jatobá, onde se localiza o Parque Nacional do Catimbau é marcada por uma estrutura geológica em patamares escalonados de origem tectônica (hemigrábens) que se dispõem em níveis sucessivamente mais profundos no sentido E-W. A parte mais elevada destes patamares constitui um alto estrutural (horst) em granito (plúton Buíque) capeado por um arenito (Formação Tacaratú) (CORRÊA; CAVALCANTI; LIRA, 2015).

série de imagens do mesmo ano tem permitido o monitoramento das fenofases do sistema fotossintético das plantas (BEURS; HENEERY, 2010).

Alguns dos principais índices que têm sido utilizados para detecção de fenofases por sensoriamento remoto são aqueles baseados na pigmentação foliar, sendo mais comum o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (HUETE; SALESKA, 2010; ROCHA; SHAVER, 2009). Este índice baseia-se na relação entre a luz vermelha incidente (Verm), absorvida pela clorofila, e a reflexão da luz infravermelha (IV) pela estrutura celular das folhas (ROUSE et al., 1973), e tem apresentado boa correlação com as mudanças na biomassa verde, sendo muito importante para o monitoramento sazonal da vegetação (JENSEN, 2009).

O NDVI é obtido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{IV - Verm}{IV + Verm} \quad (3)$$

Aqui, as variações intra-anuais do NDVI foram utilizadas para evidenciar diferenças naturais em escala macroscópica, permitindo a inferência de algumas relações entre os componentes da natureza na área do Parque Nacional do Catimbau.

As variações na vegetação foram avaliadas a partir da extração do NDVI de duas imagens do satélite LANDSAT 5, sensor *Thematic Mapper*, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para a órbita 215 e ponto 66, referentes ao ano de 2001, ano climaticamente regular (Cf. tópico seguinte) e que apresentou maior sorte de imagens com pouca cobertura de nuvem. Cada uma das imagens apresentava características climáticas distintas, sendo uma do período chuvoso e outra de um período seco (ver Tab. 2).

Tabela 2 - Características Pluviométricas da Data de Passagem do Satélite.

Data de Passagem	Precipitação (mm)		
	Até 10 dias antes da passagem	Até 30 dias antes da passagem	Até 60 dias antes da passagem
28/03/2001	27	78,2	102,7
06/10/2001	0	0	26,5

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 137).

Inicialmente foi realizado o pré-processamento das bandas 3 e 4 das imagens, necessárias para obtenção do NDVI. Esta etapa consistiu na determinação de correções geométricas e radiométricas. A correção geométrica corresponde à determinação de

coordenadas geográficas para a imagem, e foi realizada tendo como referência corpos hídricos e estradas.

A correção radiométrica busca resolver ruídos que aparecem nas imagens em função de problemas na calibração dos sensores, bem como erros na transmissão de dados e a influência de gases e aerossóis atmosféricos. Para tanto, é preciso converter os números digitais da imagem em valores de radiância ($L\lambda$), que representam a energia solar refletida por cada elemento que compõe a imagem e que foi medida ao nível do sensor (≈ 705 km de altura) (MARKHAM; BAKER, 1987), sendo obtida pela seguinte fórmula:

$$L\lambda = L\lambda_{min} + \frac{L\lambda_{max} - L\lambda_{min}}{255} DN \quad (4)$$

onde $L\lambda_{max}$ e $L\lambda_{min}$ são os valores de radiância espectral máximo e mínimo (em $W/(m^2 sr \mu m)$), respectivamente, determinados conforme Chander, Markham e Helder (2009) e DN é a intensidade do *pixel*, que varia entre 0 e 255.

Uma vez que os valores de radiância representam apenas a energia solar refletida, que pode sofrer influência de outras fontes (radiâncias de trajetória) causando distorções nos valores. O efeito de gases e aerossóis atmosféricos é o principal problema encontrado para a calibração radiométrica de imagens de satélite, sendo um dos modos mais utilizados para correção destes efeitos o método de subtração do *pixel* escuro (*Dark Object Subtraction - DOS*). Esta técnica assume que a imagem apresenta *pixels* escuros com valores de reflectância de 1% (sombras de nuvens e/ou corpos hídricos) e utiliza os valores apresentados por estes *pixels* escuros na imagem, geralmente maiores que o esperado, como referência para determinação da correção atmosférica (CHAVEZ JUNIOR, 1988, 1989).

A correção atmosférica por *DOS* é realizada com base na seguinte equação:

$$L1\% = 0,01 \frac{E_{sun} \cos\theta_z}{\pi d^2} \quad (5)$$

onde $L1\%$ é a reflectância de 1%, E_{sun} é o valor de irradiância solar média na exoatmosfera⁴, $\cos\theta_z$ é o ângulo solar zenital que varia de acordo com o momento de aquisição da cena e d é a distância Terra-Sol em unidades astronômicas.

Em seguida, o efeito do espalhamento atmosférico (*Lhaze*) é obtido pela diferença entre $L1\%$ e o valor de um *pixel* escuro obtido da imagem de radiância (*Starting Haze Value -*

⁴ O valor de E_{sun} é determinado de acordo com o dia juliano da passagem do satélite. Podemos encontrar estes valores de referência para o LANDSAT 5TM em Chander, Markham e Helder (2009).

SHVrad). Por fim, obtém-se a imagem de reflectância à superfície, eliminando-se o efeito de *Lhaze*.

Todas as etapas de pré-processamento e realce das imagens foram realizadas com a ferramenta 'Normalização de Imagens LANDSAT' (SADECK GEOTECNOLOGIAS, 2011).

Após a determinação dos valores de reflectância de superfície, as imagens foram transformadas (realçadas) com o NDVI.

Após isso, a imagem NDVI do período chuvoso (março) foi subtraída pela imagem NDVI do período seco (outubro), cuja diferença foi denominada *imagem de mudança*, tendo sido utilizada para evidenciar diferenças espaciais na fenologia do sistema foliar e inferir a existência de condições ambientais diferentes.

Considerando que os valores de NDVI variam de -1 a 1, os máximos de mudança que se podem obter com a soma variam entre -2 (quando há uma redução máxima dos valores) e 2 (quando há um incremento máximo dos valores). Observando as variações num intervalo de 1 ponto, podemos identificar 4 classes de incremento e redução de valores de NDVI, que podem ser representadas de forma percentual e nominal (Tab. 3).

Tabela 3 - Classificação para Mudanças Intra-anuais nos Valores de NDVI com intervalo de 1.

Valores de Mudança (intervalo de 1)	Mudança (%)
-2 a -1	Perda >50
0 a -1	Perda 0 a 50
0 a 1	Ganho 0 a 50
1 a 2	Ganho >50

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 139).

Ano Climaticamente Regular para a Estação de Arcoverde (Pernambuco)

Além de realizar as correções das imagens (geométrica, radiométrica e atmosférica) é preciso evitar o efeito de anos muito secos e muito chuvosos na resposta espectral dos alvos, isso, é claro, quando se pretende caracterizar variações intra-anuais da paisagem de um ano climaticamente regular. A determinação do ano climático regular consistiu na tentativa de agrupar os dados de precipitação anual de modo a se obter valores regulares e distingui-los de valores atípicos, sendo este parâmetro utilizado para selecionar o ano de obtenção das imagens de satélite para o realce por NDVI.

O ano regular foi determinado utilizando 39 anos de dados de precipitação (1973-2011) da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Arcoverde (OMM: 82890), nas coordenadas $-8,41^{\circ}$ e $-37,08^{\circ}$ e altitude de 680,7 metros e que opera desde 01/02/1973, a cerca de 25km de distância do PNC. Em função da presença de lacunas nos dados, a exemplo da falta de informação para um dia, mês ou conjunto de meses, alguns anos precisaram ser desconsiderados. Deste modo, foram desconsiderados os anos em que houvesse falta de informação para 3 meses ou mais. A tabela 4 mostra os anos eliminados em função da ausência de informação.

Tabela 4 - Anos Excluídos em Pela Ausência de Dados.

Ano	Ausência de informação (meses)
1987	3
1988	7
1991	9

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 139).

O ano regular foi então, definido pela utilização de separatrizes, agrupando-se os valores de precipitação anual dos anos considerados em quartis. Os valores abaixo do primeiro quartil (Q1) indicam os 25% de anos menos chuvosos (anos secos); Os valores acima do terceiro quartil (Q3) indicam os 25% de anos mais chuvosos (anos chuvosos). Por fim, os valores entre Q1 e Q3 indicam os 50% dos anos nem muito secos, nem muito chuvosos, que utilizamos aqui como referência para os anos regulares. Para realização desta operação utilizou-se a função QUARTIL, do *Microsoft Excel*.

Avaliando a Relação entre Pluviosidade e Fenologia

A fim de se avaliar um possível condicionamento da fenologia em relação à pluviosidade, foram elaborados diagramas de dispersão e determinadas linhas de tendência polinomial de ordem 2, num perfil distinto.

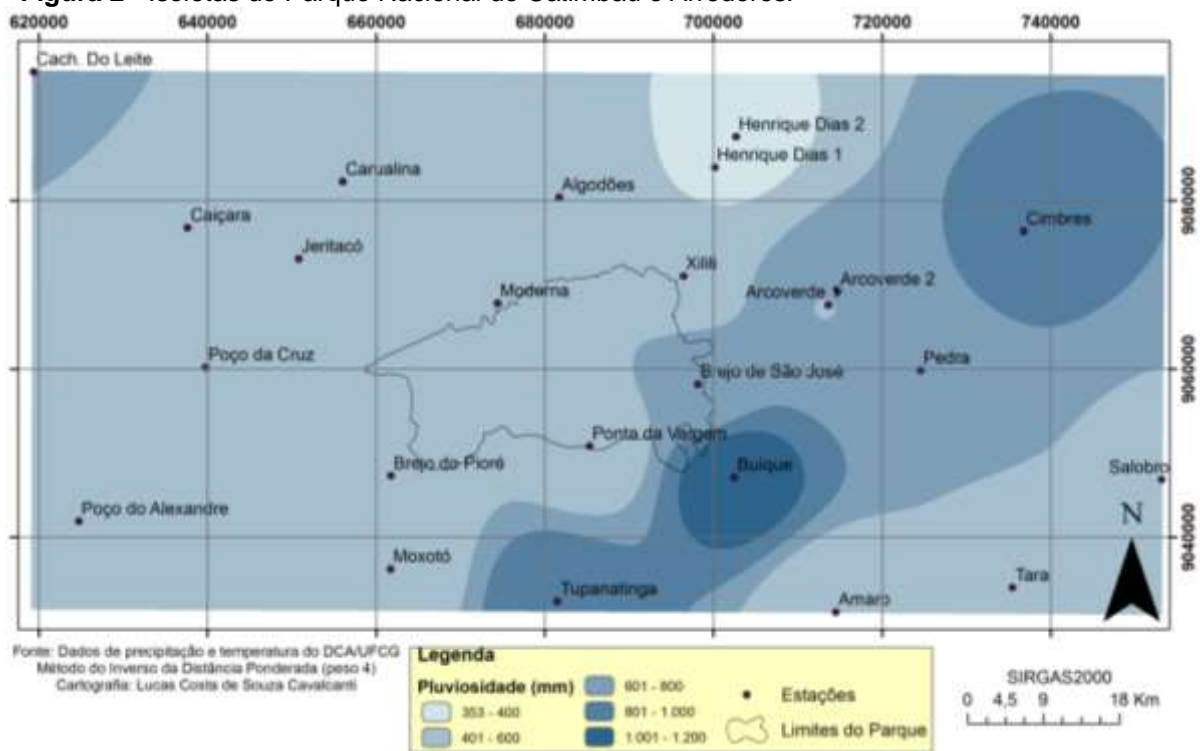
O procedimento utilizado foi o mesmo adotado para análise dos condicionantes sobre a pluviosidade, a saber: reamostragem das imagens matriciais de precipitação e altitude para que ficassem com o mesmo tamanho de célula; elaboração de um perfil que destacasse a maior variação espacial dos valores; exportação do perfil para o *Excel* e; plotagem dos dados no gráfico e adição da linha de tendência (regressão polinomial de 2ª ordem).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pluviosidade Média Anual e Seus Condicionantes

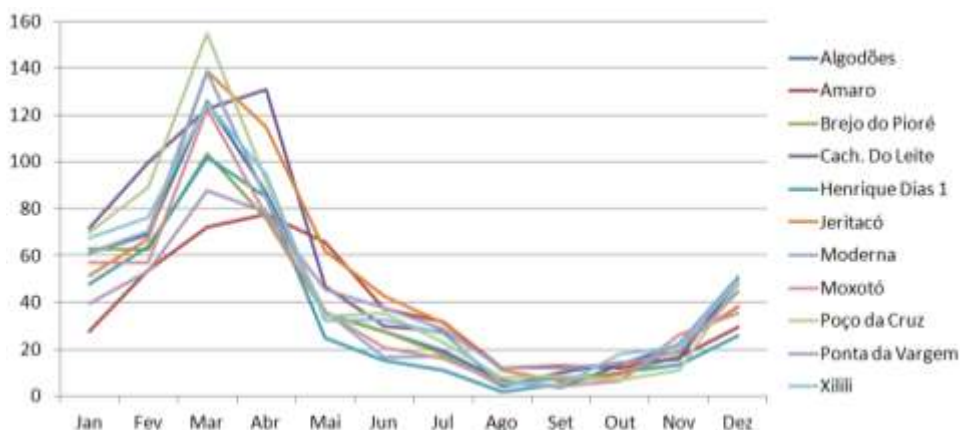
As isoietas para a região do PNC e seu entorno (Fig. 2) apresentam uma faixa de concentração da pluviosidade na direção NE-SW, com valores históricos acima de 600 mm/anuais, com destaque para o posto pluviométrico de Buíque. Esta faixa mais úmida separa duas áreas com precipitação inferior a 600 mm/anuais.

Figura 2 - Isoietas do Parque Nacional do Catimbau e Arredores.



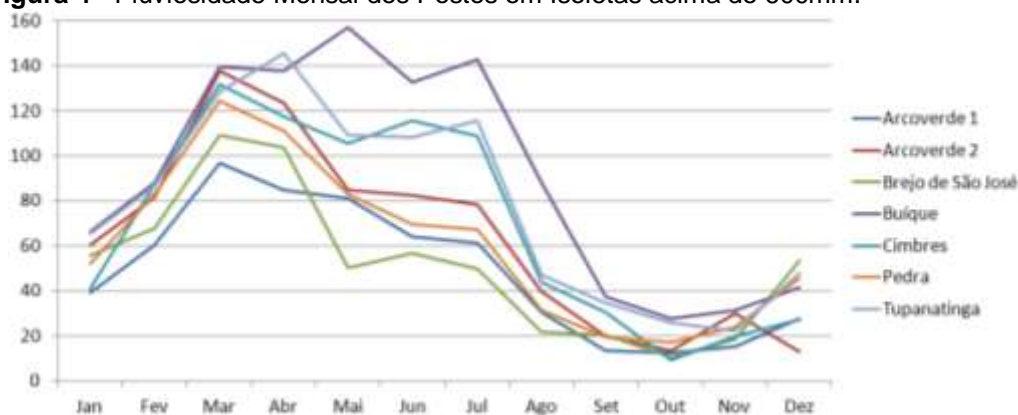
Fonte: Cavalcanti (2013, p. 141).

Analisando a distribuição da precipitação ao longo do ano (Fig. 3), percebe-se que os postos possuem picos de precipitação no mês de março, geralmente associados à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (ALVES, 2012).

Figura 3 - Pluviosidade Mensal de Postos em Isoietas abaixo de 600mm.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 142).

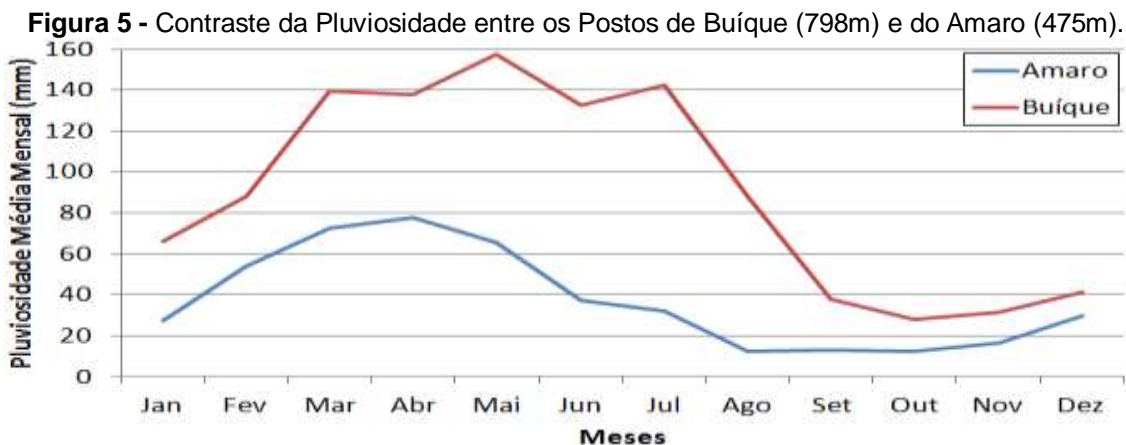
Os postos que se localizam na faixa de umidade (Arcoverde 1 e 2, Brejo de São José, Buíque, Cimbres, Pedra e Tupanatinga) apresentam picos de precipitação entre março e julho, decrescendo a partir de agosto (Fig. 4). Estas precipitações geralmente provêm de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que podem se associar a Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (ALVES et al., 2011; ALVES, 2012).

Figura 4 - Pluviosidade Mensal dos Postos em Isoietas acima de 600mm.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 142).

Todos os postos na faixa superior a 600 mm possuem altitudes acima de 650m, fato que poderia indicar a altitude como um elemento de diferenciação. Contudo, o posto Ponta da Vargem, localizado a 680m, possui precipitação média anual de apenas 480,4mm.

A explicação mais provável para a existência do elemento mais úmido são chuvas orográficas produzidas por uma convecção do tipo vale-montanha, condicionada pela escarpa do *Horst* Buíque, que apresenta um desnível em torno de 400m entre a parte mais elevada desta região. Na região entre o posto de Buíque (1098 mm/ano) e a parte mais baixa, onde se localiza o posto do Amaro (448 mm/ano), o desnível é de 323m, numa distância de apenas 19,9km (em linha reta) (Fig. 5).



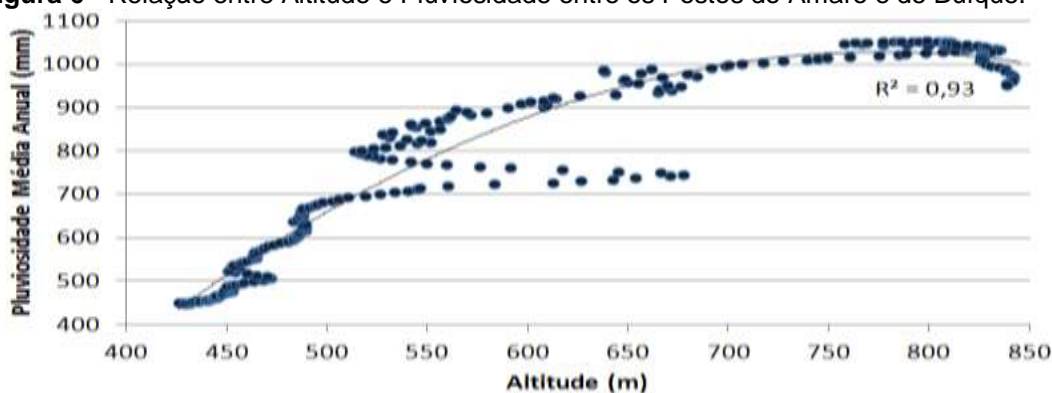
Fonte: Cavalcanti (2013, p. 143).

A correlação entre os pluviogramas de ambas as localidades apresenta uma similaridade no ritmo, mas não na magnitude anual da pluviosidade. Assim, é possível aventar a hipótese que esta faixa de umidade seja principalmente uma relação entre a escarpa do *Horst* Buíque com a atuação dos ventos que adentram o continente no inverno, provavelmente associados aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).

Os ventos úmidos oceânicos ganhariam ainda mais umidade pela razão adiabática decorrente da ascensão da escarpa da referida morfoestrutura, provocando a continuidade das precipitações até julho. Além disso, a influência da morfoestrutura ainda é uma explicação plausível para a diferença na magnitude das precipitações entre as localidades consideradas.

O efeito do desnível topográfico no regime de chuvas se torna ainda mais evidente no diagrama de dispersão (Fig. 6), que apresenta os valores de precipitação ao longo do gradiente altimétrico entre as duas localidades (Buíque e Amaro), com R^2 de 0,93, conforme tendência polinomial de ordem 2.

Figura 6 - Relação entre Altitude e Pluviosidade entre os Postos do Amaro e de Buíque.



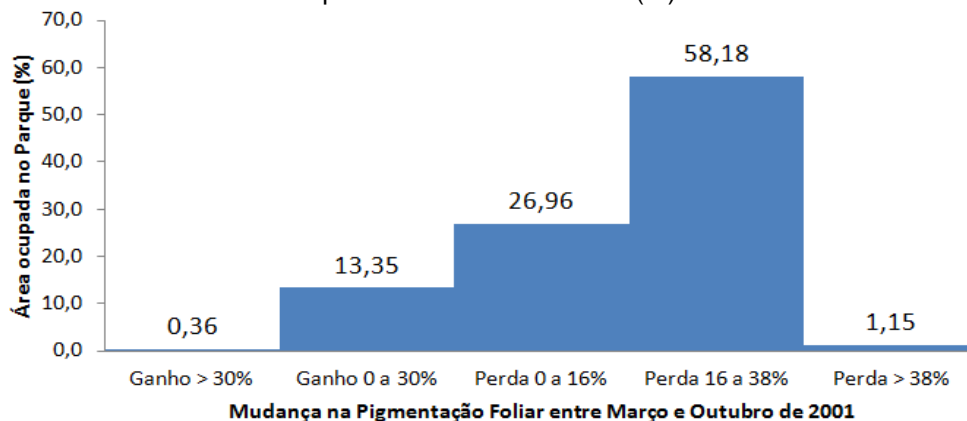
Fonte: Cavalcanti (2013, p. 144).

Fenologia e Seus Condicionantes

A análise do percentual ocupado para cada classe de incremento ou perda de NDVI indica que mais de 85% da área do Parque apresentou classes de perda na pigmentação foliar entre março e outubro de 2001 (ano climático regular) (Fig. 7). Neste contexto, apenas 1,15% do PNC apresentou perda > 38%. A maior parte da unidade de conservação (58,18%) caracterizou uma perda entre 16% e 38%. Além disso, pouco mais que ¼ da área (26,96%) teve uma redução de 0% a 16% no valor de *mudança intra-anual na pigmentação foliar* (mPF).

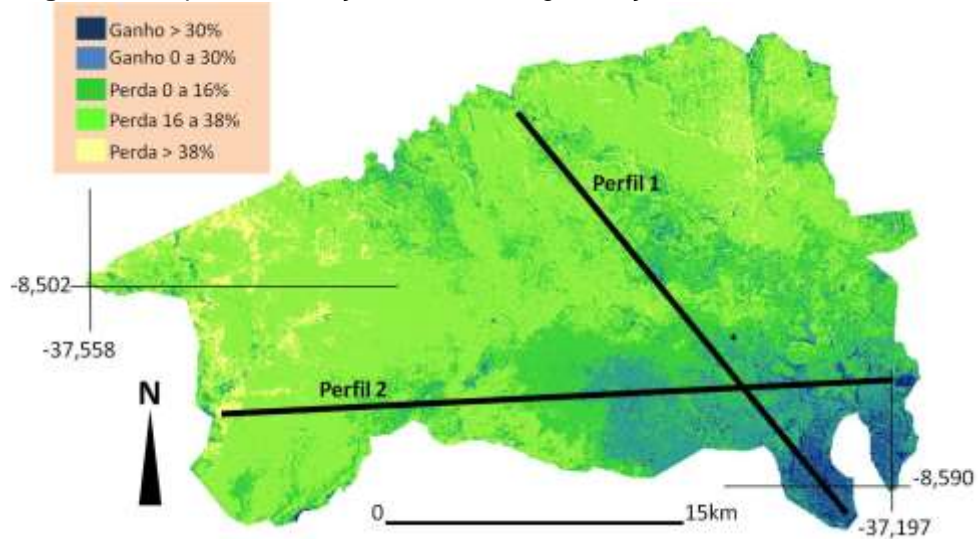
De forma interessante, uma pequena porção da área de estudo (13,71%) apresentou incremento nos valores de NDVI, entre março e outubro de 2001. Além disso, uma pequena região (equivalente a 0,36% da área do Parque) teve ganho superior a 30% no mPF no mesmo período. O motivo deste incremento é sugerido a seguir.

Figura 7 - Área Ocupada por Classes de Mudança Sazonal na Pigmentação Foliar no Parque Nacional do Catimbau (%).



Fonte: Cavalcanti (2013, p. 144).

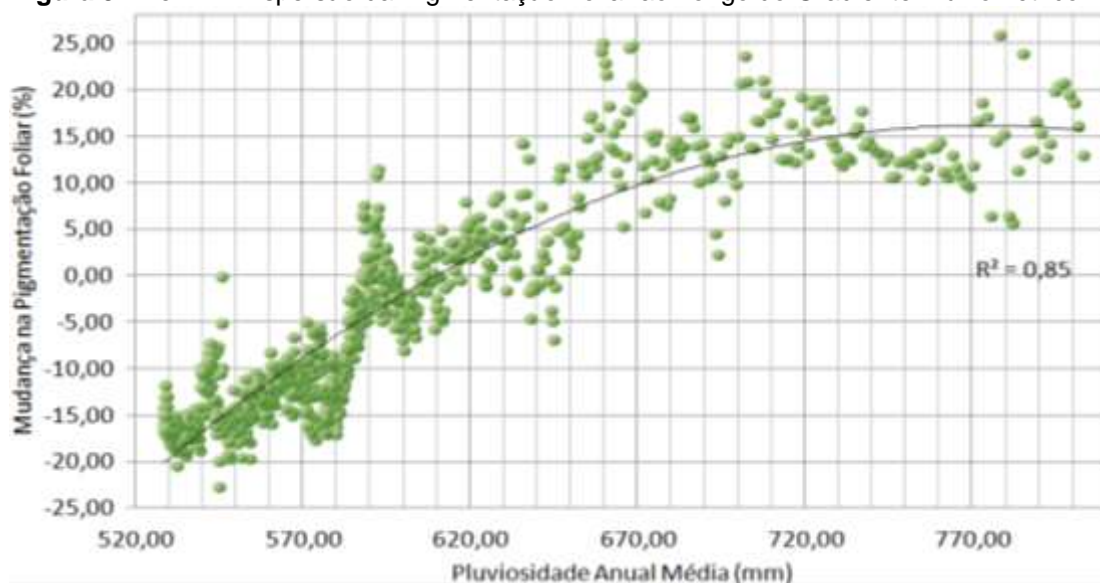
O mapa de mPF, agrupado em quatro classes (Fig. 8), nos indica que os maiores contrastes estão relacionados aos valores elevados da porção SE do PNC, que concentra o incremento de NDVI. As demais regiões do Parque apresentam forte evidência de caráter decidual (perda de mPF).

Figura 8 - Mapa de Mudança Sazonal da Pigmentação Foliar.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 145).

Vale ressaltar que os valores de incremento de NDVI, localizam-se preferencialmente na porção SE do Parque, coincidindo com as regiões de maior pluviosidade (comparar Fig. 3 e 9). Este fato pode indicar menor deciduidade (caráter semidecidual) e até ausência de caducifolia (caráter sempre-verde) no extremo SE do PNC.

Uma observação detalhada sobre a relação entre pluviosidade (P) e mPF, por meio do gráfico de dispersão (Fig. 9), apresenta um ajuste (R^2) igual a 0,85 para uma tendência polinomial de ordem 2. Isto indica uma forte relação entre P e mPF.

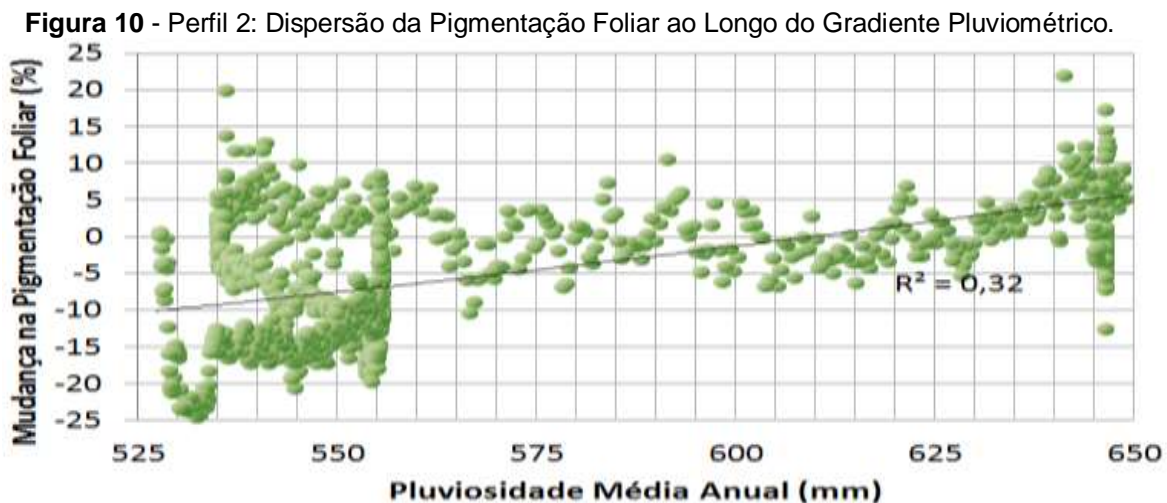
Figura 9 - Perfil 1: Dispersão da Pigmentação Foliar ao Longo do Gradiente Pluviométrico.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 146).

Além disso, verifica-se que abaixo de 585 mm de P, não foi registrado *ganho* de mPF, assim como acima de 650 mm não houve *perda* de PF, caracterizando uma possível faixa transicional.

Deste modo, o gráfico acima constitui uma boa explicação para a variabilidade dos padrões intra-anuais de mudança na pigmentação foliar em relação à pluviosidade média anual. Além do mais, permite subsidiar hipóteses sobre as relações entre valores de pluviosidade e as respostas fenológicas do sistema fotossintético para as plantas da região estudada.

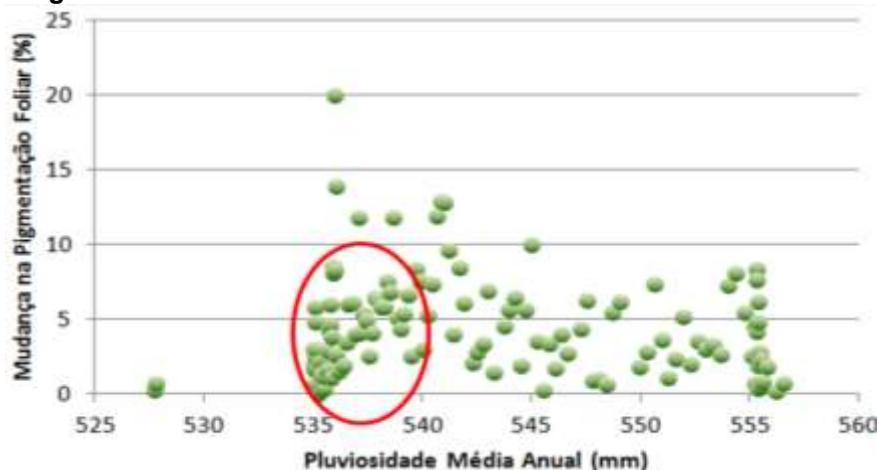
Diferentemente do perfil anterior, o Perfil 2 (Fig. 10) apresentou baixo valor de R^2 para a relação P-MPF, sendo de apenas 0,32. Em concordância, acima dos valores de 646 mm de P, não houve perda de PF. Contudo, houve bastante ganho de PF, mesmo em área com baixo valor de P. Em função dessa discordância, os dados do Perfil 2 foram observados com maior cautela para tentar identificar as causas desta diferença.



Fonte: Cavalcanti (2013, p. 147).

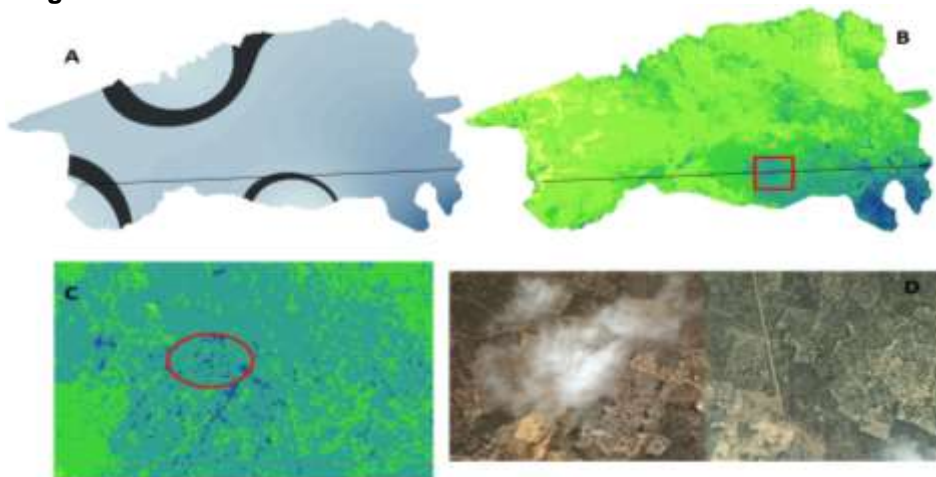
Visto que os valores de ganho do perfil 2 encontravam-se quase totalmente no intervalo de 557mm e 535mm de precipitação, resolvemos isolá-los num novo gráfico (Fig. 11), no qual percebemos que a maior parte dos valores está agrupada no intervalo de 535mm e 540mm de precipitação.

Reclassificando o plano de informação da pluviosidade média anual em classes de 10 mm, foram isoladas, com a cor cinza escuro, as regiões no intervalo referido (535-540mm) e, em seguida, procedeu-se uma correlação visual com a imagem de mPF.

Figura 11 - Valores de Ganho do Perfil 2 Isolados.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 147).

Observando na imagem de mPF as regiões da porção SW do Parque, com intervalo 535-540mm, não apresentaram valores de ganho. Estes valores concentraram-se na porção S, próximo às localidades da Ponta da Vargem e do Caldeirão que, na imagem de alta resolução disponível no *Google Earth* coincidem com uma área de intenso uso da terra (Fig. 12).

Figura 12 - Influência do Uso da Terra nos Valores de mPF.

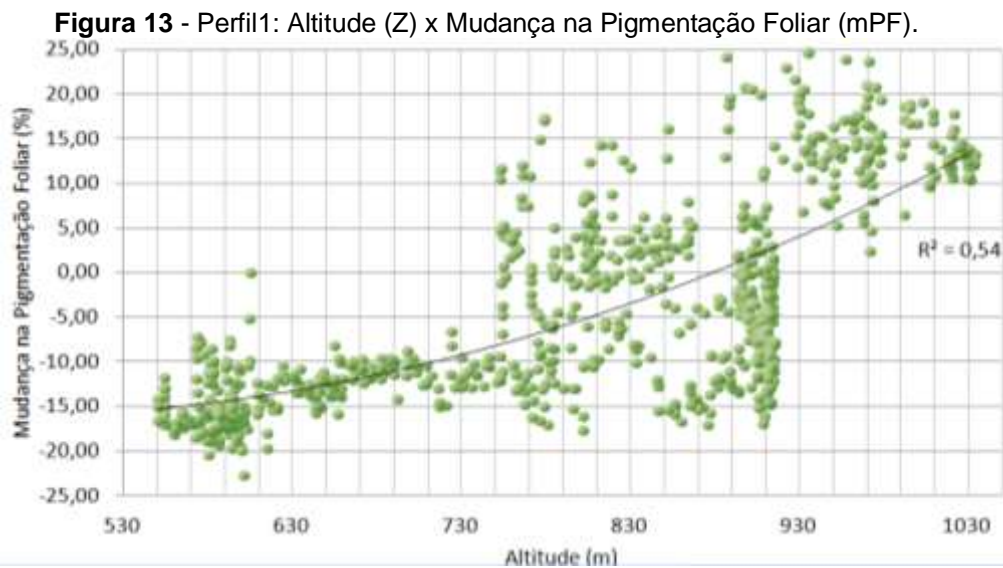
A. Pluviosidade Média Anual, destacando o intervalo entre 535mm e 540mm (cinza escuro); B. Localização no perfil de valores de ganho na Pigmentação Foliar, coincidentes com o intervalo pluviométrico mencionado; C. Visualização em detalhe; D. Visualização na imagem *Google Earth*.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 148).

Com base na figura acima, podemos concluir que os sistemas de uso da terra na região onde foi traçado o Perfil 2, constituem uma explicação razoável para o baixo valor de R^2 para a relação P-MPF.

Relação Altitude (Z) x Mudança na Pigmentação Foliar (mPF)

Adicionalmente, foi testada a relação Z-mPF, com vistas a avaliar a hipótese da influência do *Horst* Buíque também sobre os ciclos anuais da vegetação do Parque. O valor de 0,54 da tendência polinomial de ordem 2 (R^2), indica uma baixa correlação. Contudo, no gráfico da figura 13 ficam visíveis alguns indicadores de relação, como por exemplo, o fato de que acima de 915m não ocorre perda de PF, assim como abaixo de 750m não é registrado ganho de PF.



Fonte: Cavalcanti (2013, p. 149).

Sabendo que altas temperaturas afetam diretamente a fotossíntese e que, a altitude afeta diretamente a temperatura, podemos levantar a hipótese de que a altitude possa ter um efeito indireto (através do regime térmico) sobre as mudanças sazonais na pigmentação foliar.

Outra evidência para a sustentação desta hipótese é a simples correlação visual entre os valores de mPF, de P e os contornos da geomorfologia (Fig. 14). Neste contexto, os valores de mPF apresentam-se bastante distintos mesmo estando sobre uma mesma faixa de P, mas que apresentam boa correlação com os contornos da topografia dos Patamares Estruturais da porção SE do Parque.

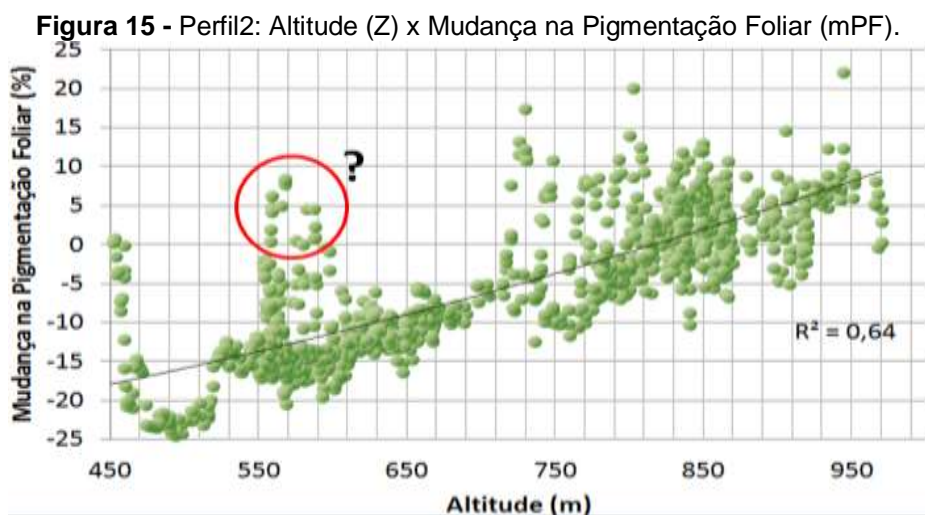
Figura 14 - Correlação entre Fenologia (à esq.), Pluviosidade e Geomorfologia (à dir.) na Porção SE do Parque.



Fonte: Cavalcanti (2013, p. 149).

Isto pode ser um indicativo de que a geomorfologia realmente possa estar exercendo algum controle na vegetação, onde os Patamares Estruturais promovem um regime térmico diferenciado, que por sua vez afeta as taxas de fotossíntese, condicionando maior produtividade de pigmentação foliar, talvez em função de um regime térmico mais ameno que o calor excessivo das regiões de entorno (ver a seguir).

Similarmente ao Perfil 1, a relação Z-mPF no Perfil 2 foi relativamente baixa a moderada, com tendência polinomial (ordem 2) de 0,64 (Fig. 15).

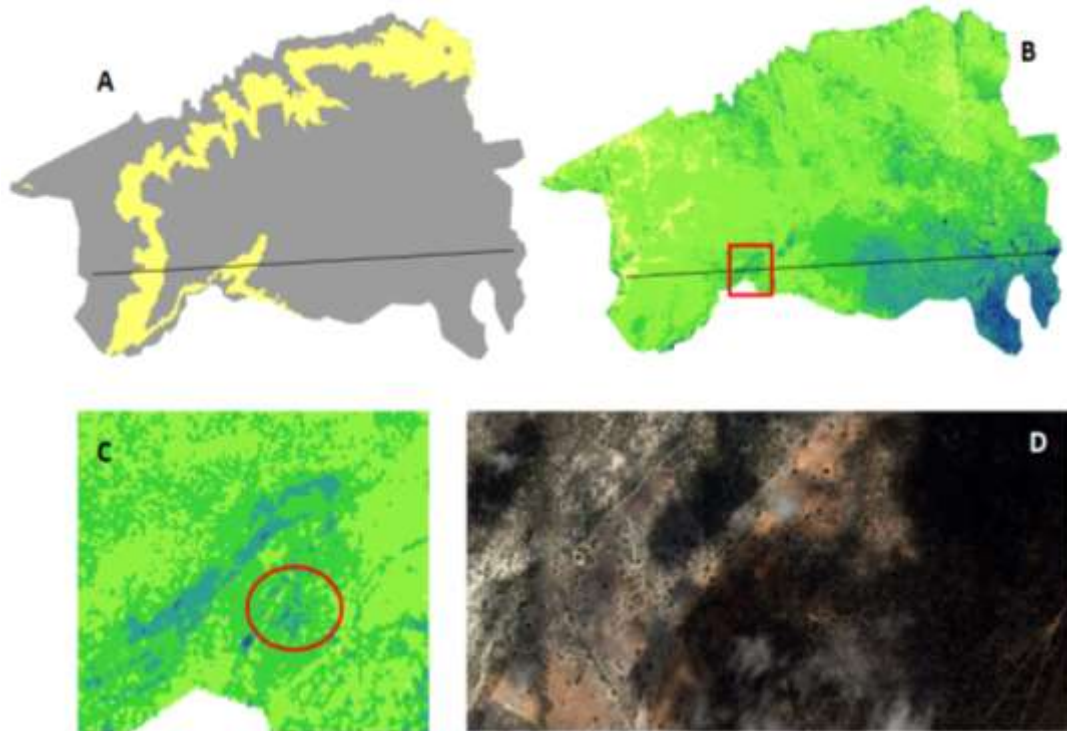


Fonte: Cavalcanti (2013, p. 150).

De modo similar ao Perfil anterior, não houve perda de PF, desta vez acima da cota de 919m. Além disso, abaixo de 720m não se verificou ganho de PF, com exceção de 14 pontos (que representam 1,25% do total de pontos) localizados no intervalo entre 558m e 588m de altitude.

Conforme realizado para o Perfil 2 da relação P-mPF, também observamos em detalhe as causas dessas variações (Fig. 16). Assim, o plano de informação da altitude foi reclassificado, isolando o intervalo de 558m e 588m. Em seguida foram observadas as seções do perfil, no referido intervalo, a fim de descobrir em quais delas havia registro de ganho de PF. Tal condição só foi encontrada na região do Vale do Pioré, no qual, por meio da visualização da imagem disponível no *Google Earth*, mais uma vez encontramos uma área sujeita ao uso da terra.

Figura 16 - Influência do Uso da Terra nos Valores de mPF.



A. Altitude, destacando o intervalo entre 558m e 588m (amarelo); B. Localização no perfil de valores de ganho na Pigmentação Foliar, coincidentes com o intervalo altimétrico mencionado; C. Visualização em detalhe; D. Visualização na imagem *Google Earth*. Fonte: DCA/UFCEG; LANDSAT 5TM; Google Earth 6. Modificado pelo autor.

Fonte: Cavalcanti (2013, p. 151).

Voltando à discussão da relação altitude-temperatura-fotossíntese, resolvemos estimar a temperatura média mensal para localidades posicionadas acima dos 900m, utilizando o programa Estima T (UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2012), indicando várias altitudes distintas, observadas em dados de elevação SRTM.

Com isso, encontramos que, por volta dos 920m, a temperatura média do mês mais frio tende a ser inferior a 18°C, que na literatura geográfica tem sido referenciada como indicativa de climas 'mesotérmicos' (BERUCHASHVILI, 1989; KOTTEK et al., 2006; NIMER, 1979). Além disso, a temperatura máxima fica entre 29°C (mês mais quente) e 23°C (mês mais frio), enquanto a mínima fica entre 18°C (mês mais quente) e 15°C (mês mais frio).

Estes intervalos também são solidários com a hipótese de um condicionamento altitudinal da produtividade biológica.

Contudo, a estimativa também demonstra os mesmos valores mais baixos de temperatura para a porção NW dos Patamares Estruturais da borda do Parque, que não apresentam valores de incremento de NDVI. Além disso, os Patamares de NW também se caracterizam por um valor de pluviosidade abaixo de 600mm, talvez uma explicação para a maior pigmentação foliar restrita aos Patamares de SE.

CONCLUSÕES

Os dados dos postos pluviométricos apresentaram uma boa correlação entre si, além de uma boa integração com dados de outras fontes, a exemplo das informações altimétricas, da fenologia e das morfoestruturas. Isto significa que, para a área em questão, as informações disponibilizadas pelo DCA/UFCG possuem certa confiabilidade.

As análises realizadas permitiram concluir que o Parque Nacional do Catimbau apresenta um regime pluviométrico típico do clima semiárido do Nordeste Brasileiro. Contudo, sua porção SE se caracteriza por uma forte influência da topografia no curso anual das chuvas.

O desnível altimétrico que marca a borda E do *Horst* Buíque, com valor de $R^2 = 0,93$ indica um forte controle da pluviosidade pelos contornos da topografia regional, sugerindo a existência de uma diferenciação vertical das paisagens. Este condicionamento hipsométrico da pluviosidade, contudo, não se estenderia muito além das proximidades do desnível, onde voltaria a atuar o clima regional (semiárido). Desta forma, as evidências que corroboram esta hipótese incluem os efeitos marcantes da pluviosidade sobre a distribuição das variações intra-anuais na pigmentação foliar (fenologia), que chega a apresentar $R^2=0,85$.

Contudo, em áreas de intenso uso da terra, a fenologia parece ser regulada pela atividade humana, provavelmente em função da irrigação, resultando numa divergência da marcha anual da precipitação.

A baixa correlação entre a altitude e a fenologia sugere que a relação desnível altimétrico>chuvas não se estende para uma relação de controle desnível altimétrico >fenologia. Entretanto, as cimeiras mais elevadas dos patamares estruturais da porção SE do Parque parecem interagir com os valores de precipitação mais intensos em função da altitude. Esta relação afeta diretamente a produtividade biológica, pelo menos em termos de pigmentação foliar.

REFERÊNCIAS

- ALVES, K. M. A. S. et al. Estudo de caso de aspectos dinâmicos de um complexo convectivo de mesoescala. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 2226-2233.
- ALVES, K. M. A. S. **Modelagem conceitual agroclimática do município de Buíque**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- BERUCHASHVILI, N. L. **Etologia da paisagem e cartografia dos estados do meio natural**. Tbilisi: Universidade de Tbilisi, 1989.
- BEURS, K. M.; HENEBRY, K. M. A land surface phenology assessment of the northern polar regions using MODIS reflectance time series. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v. 36, supl. 1, p. 87-110, 2010.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CAVALCANTI, L. C. S. **da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 2013. 217 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.
- CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. Da descrição de áreas às sínteses naturalistas: uma abordagem historiográfica sobre a ideia de áreas naturais. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 377-422, 2014.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.
- CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.
- _____. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 55, n. 9, p. 1285-1294, 1989.
- CORRÊA, A. C. B.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Stone and sand ruins in the drylands of Brazil: the rustic landscapes of Catimbau National Park. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. **Landscapes and landforms of Brazil**. Dordrecht: Springer, 2015. p. 243-252.
- DYAKONOV, K. N. Landscape studies in Moscow Lomonosov State University: development of scientific domains and education. In: DYAKONOV, K. N. et al. **Landscape analysis for sustainable development: theory and applications of landscape science in Russia**. Moscou: Alex Publishers, 2007. p. 11-20.
- FEDDEMA, J. J. A revised thornthwaite-type global climate classification. **Physical Geography**, Tennessee, v. 26, n. 6. p. 442-466, 2005.
- FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica do terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à geoinformática**. São José dos Campos: INPE,

2001. p. 173-210. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2013.

HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. **Science**, New York, v. 105, n. 2727, p. 367-368, 1947.

_____. The life zone system. **Adansonia**, Paris, v. 6, p. 199-203, 1966.

HUETE, A. R.; SALESKA, S. R. Remote sensing of tropical forest phenology: issues and controversies. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**, Kyoto, v. 38, n. 8, p. 539-541, 2010.

ISACHENKO, A. G. **Ciência da paisagem e regionalização físico-geográfica**. Moscou: Vyshaya Shkola, 1991.

_____. **Teoria e metodologia da ciência geográfica**. Moscou: Academia, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KOTTEK, M. et al. World map of the köppen-geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3. p. 259-263, 2006.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP, 2000.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1976. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

_____. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, 1979.

NÓBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre as classificações climáticas de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, p. 18-22, 2010.

ROCHA, A. V.; SHAVER, G. R. Advantages of a two band EVI calculated from solar and photosynthetically active radiation fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 9, p. 1560-1563, 2009.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA SP-351, 1973. p. 309-317.

SADECK GEOTECNOLOGIAS. **Toolbox para a calibração de bandas Landsat e correção atmosférica no ArcGis**. 2011. Disponível em:

<<http://geotecnologias.wordpress.com/2011/05/14/toolbox-para-a-calibracao-de-bandas-landsat-e-correcao-atmosferica-no-arcgis/>> Acesso em: 12 maio 2012.

SILVA, D. G. **Reconstrução da dinâmica geomorfológica do semiárido brasileiro no quaternário superior a partir de uma abordagem multiproxy**. 2013. 277 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Departamento de Ciências Atmosféricas. **Clima**. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/tsm.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

ZAVANTTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática**. São Paulo: Alínea, 2013.

ZUCHKOVA, V. K.; RAKOVSKAIA, E. M. **Métodos de investigação em geografia física integrada**. Moscou: Academia, 2004.

Recebido em 11/12/2103

Aceito em 25/06/2015