



## **Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

# **EFEITO DE BORDA A ATÉ 30 - 40 M PARA O INTERIOR DE FLORESTAS ESTACIONAIS DEMONSTRADO POR UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E SIMILARIDADE FLORÍSTICA**

**VALDIVINO DOMINGOS DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**MESTRADO**

**Ipameri-GO  
2021**

**VALDIVINO DOMINGOS DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**EFEITO DE BORDA A ATÉ 30 - 40 M PARA O INTERIOR DE  
FLORESTAS ESTACIONAIS DEMONSTRADO POR  
UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E  
SIMILARIDADE FLORÍSTICA**

Orientador: Prof. Dr. Vagner Santiago do Vale

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri - GO  
2021

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DD671 Domingos de Oliveira Júnior, Valdivino  
e EFEITO DE BORDA A ATÉ 30 - 40 M PARA O INTERIOR DE  
FLORESTAS ESTACIONAIS DEMONSTRADO POR UTILIZAÇÃO DE  
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E SIMILARIDADE FLORÍSTICA /  
Valdivino Domingos de Oliveira Júnior; orientador  
Vagner Santiago do Vale . -- Ipameri GO, 2021.  
46 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação  
Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de  
Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2021.

1. Índices de vegetação . 2. Ecologia de Paisagem.  
3. Floresta Estacional Semidecidual . 4. Cerrado. 5.  
Sensoriamento Remoto . I. Santiago do Vale , Vagner ,  
orient. II. Título.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** “EFEITO DE BORDA A ATÉ 30 - 40 M PARA O INTERIOR DE FLORESTAS ESTACIONAIS COMPROVADAS POR UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ANÁLISES FITOSSOCIOLÓGICAS”

**AUTOR(A):** Valdivino Domingos de Oliveira Júnior

**ORIENTADOR(A):** Vagner Santiago do Vale

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM

*Jose' Carlos de Souza*

PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:  
Prof. Dr. José Carlos de Souza  
Universidade Estadual de Goiás/ Campus Cora Coralina-GO



Prof. Dr. Ednaldo Cândido Rocha  
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO

*Vagner S. do Vale*

Prof. Dr. Vagner Santiago do Vale (Orientador)  
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO

### Registro de Declaração

Número: 089

Livro: R-01 Folhas: 2

Data: 15/02/2021



Data da realização: 15 de fevereiro de 2021

## DEDICATÓRIA

- “Dedico a Deus, pois sem Ele não existiria a resiliência a força de vontade e a coragem para lutar”;
- “Dedico a grande guerreira Donizete Aparecida de Oliveira, mãe você é inspiração”;
- “Dedico aos meus irmãos, Valdiney, Vinícius e Vanessa, sempre juntos”;
- “Dedico as minhas joias, Clara, Manuel e Lucas”;
- “Dedico a meus tios e primos em nome de Tia Fiinha por ser esta Luz”;
- “Dedico a Antônia Janiele, por estar presente, ser força, coragem e acreditar sempre”;
- “Dedico a todos que lutam pela ciência”;
- “Dedico aos amigos do Aneilton, sem estas tardes, eu poderia ter ficado louco”;
- “Dedico ao meu Santástico, pois nascer viver e no Santos morrer, é um orgulho que nem todos podem ter”;
- “E enfim dedico ao presidente Luiz Inácio Lula da Silva e a presidenta Dilma Rousseff, tudo começou com o meu PROUNI, gratidão”.

## AGRADECIMENTOS

“Agradeço a Vagner Santiago do Vale, por sua sabedoria, paciência, exemplo de profissional, que consegue transmitir conhecimento, de forma justa e generosa”;

“Agradeço ao meu (extraoficial) coorientador Luiz de Medeiro Dantas, aprendi muito com você, um artista, engenheiro, cozinheiro, pintor, escultor e designe gráfico, e com sua família, Sandra, Luizinho, Pri e Ju, vocês estão no meu coração”;

“Agradeço aos amigos que fiz “Roberta Croda, Osmany, Gabriel Venâncio, Jaime Rego, Eliene, obrigado por tudo”;

“Agradeço a família de Vilson Barcelos (Meu irmão), pelas orações e apoio, obrigado, Jú, Gustavinho, Vilson Jr, Emile e especialmente a minha amiguinha a princesa Valenthyna”;

“Agradeço a família de Dona Glória, sempre te chamarei de mãe, valeu Marcio e Nadir”;

“**Obrigado** meus grandes irmãos: Ronaldo Morais (O fenômeno) e ao Alessandro (Goiano)”.

**“Chegara um dia que estarei cansado, meus ossos serão fracos, minha vontade será de ficar na cama e minha força será pouca. Mas todos os dias quando acordo eu digo “Hoje não será esse dia”**”

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fragmentos de florestas estacionais semidecíduais amostrados neste estudo. Fragmentos: IP = UEG - Ipameri, CA = Campo Alegre GO, IF = Zona Rural de Ipameri GO, CN = Rodovia que conecta a Caldas Novas -GO, UB = Área Controle – Uberlândia MG..... 4
- Figura 2.** Exemplos de extração de dados em fragmentos florestais do sudeste de Goiás, próximo a Ipameri – GO. Linhas amarelas representam o sentido da ordem de coleta de dados, nos transectos e os quadrados os pontos amostrais dos quais foram realizados a coleta de dados. .... 6
- Figura 3.** Exemplo de extração de dados em fragmentos florestais do sudeste de Goiás, próximo a Ipameri GO. Linhas amarelas representam o transecto e os pontos amostrais em vermelho dos quais foram realizados a coleta de dados para o sensoriamento remoto. .... 8
- Figura 4.** Dendrograma de Similaridade para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Coeficiente de Jaccard e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento CN. .... 15
- Figura 5.** Dendrograma de Similaridade para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Índice de Morisita-Horn e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento CN. .... 16
- Figura 6.** Dendrograma de Similaridade para fragmentos florestal em área de proteção ambiental (UB) no Triângulo Mineiro utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Coeficiente de Jaccard e o Índice de Morisita-Horn e a m média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos. .... 17
- Figura 7.** Mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Setas azuis indicam valores muito baixos. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN..... 18
- Figura 8.** Mapas de Vegetação de Diferença Normalizada Verde (GNDVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Setas amarelas indicam regiões da borda com valores mais baixos e setas verdes regiões da borda com mais altos de GNDVI. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN. .... 19

<b>Figura 9.</b> Mapas Índice de Vegetação Melhorado (EVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de EVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP. B = CA. C= IF. D = CN.....	20
<b>Figura 10.</b> Mapas Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de EVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN. ....	21
<b>Figura 11.</b> Mapas de umidade para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de umidade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN. ....	22
<b>Figura 12.</b> Mapas de Proporção de Vegetação (PV) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de PV variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C= IF, D = CN. ....	22
<b>Figura 13.</b> Mapas de emissividade (e) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de emissividade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.....	24
<b>Figura 14.</b> Mapas Temperatura da Superfície Terrestre (LST) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de emissividade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.....	25
<b>Figura 15.</b> Análise de variância entre índices de vegetação para cinco fragmentos florestais. Círculo vermelho = média, setas verticais = desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, LSL= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação.....	28
<b>Figura 16.</b> Análise de variância entre índices de vegetação para cinco fragmentos florestais. Círculo vermelho = média, setas verticais = desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva	



Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, LSL= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação.....29

**Figura 17.** Regressões entre índices de vegetação e distância para borda para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo. ....30

**Figura 18.** Regressões entre índices de vegetação e distância para borda para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, LSL= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação. ....31

**Figura 19.** Análise de componentes principais para índices de vegetação em quatro fragmentos florestais.....32

**Figura 20.** Dendrograma de Similaridade para os fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o baseado na Distância de Gower e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento C.....33

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>4</b>
3.1. AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE ARBÓREA .....	6
3.2. ESTATÍSTICA DA COMUNIDADE ARBÓREA .....	6
3.3. ANÁLISE DO SENSORIAMENTO REMOTO .....	7
3.3.1. IMAGENS .....	7
3.3.2. GEOPROCESSAMENTO DAS IMAGENS .....	8
3.4. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO. ....	9
3.4.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA - <i>NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)</i> .....	9
<b>3.4.2. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA VERDE - <i>GREEN NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (GNDVI)</i></b> .....	<b>9</b>
3.4.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO - <i>ENHANCED VEGETATION INDEX (EVI)</i> .....	10
3.4.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO - <i>SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI)</i> . ....	10
3.4.5. ÍNDICE DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO (UMIDADE) .....	11
3.5. ÍNDICES AMBIENTAIS .....	11
3.5.1 PROPORÇÃO DE VEGETAÇÃO (PV) .....	11
3.5.2. EMISSIVIDADE “E”.....	12
3.5.3. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE – <i>LAND SURFACE TEMPERATURE (LST)</i> .....	12
3.6. PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE ÍNDICES .....	13
3.7. CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS .....	13
3.8. ESTATÍSTICA DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	13
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>15</b>
4.1. ANÁLISE DA COMUNIDADE ARBÓREA .....	15
4.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	17
4.2.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA - <i>NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)</i> .....	17
4.2.3. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO - <i>ENHANCED VEGETATION INDEX (EVI)</i> .....	19
4.2.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO - <i>SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI)</i> . ....	20

4.2.5.	ÍNDICE DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO (UMIDADE) .....	21
4.2.6.	PROPORÇÃO DE VEGETAÇÃO (PV) .....	22
4.2.7.	EMISSIVIDADE (E).....	23
4.2.8.	TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE - <i>LAND SURFACE TEMPERATURE</i> (LST) .....	24
4.2.9.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	25
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
5.1.	EFEITO DE BORDA – DADOS FLORÍSTICOS E FLORÍSTICO-ESTRUTURAIIS .....	34
5.2.	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (MATRIZ PROTEGIDA - UB X MATRIZ AGRÍCOLA – IP, CA, IF, CN) .....	34
5.3.	DETALHAMENTO SOBRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E EFEITO DE BORDA .....	36
5.3.1.	NDVI E SAVI .....	36
5.3.2.	EVI .....	37
5.3.3.	UMIDADE .....	37
5.4.	PV E EMISSIVIDADE .....	38
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
6.1.	RESPONDENDO ÀS PERGUNTAS PROPOSTAS .....	38
6.2.	QUANTO AOS OBJETIVOS .....	39
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

## RESUMO

As bordas em fragmentos florestais são formadas por perturbações naturais ou antrópicas onde, estes fragmentos de florestas em matriz rural sofrem pressões do meio em diferentes níveis. No entanto, há poucos estudos indicadores do real tamanho da borda e até onde seus efeitos são percebidos pela floresta. O estudo teve os objetivos de avaliar o efeito de borda em fragmentos de floresta, utilizando os estudos florísticos e índices de vegetação, determinando o gradiente (metros) em que a borda entra no fragmento florestal, e assim indicar os índices de vegetação que melhor se aplicam a estudos de efeito de borda. A pesquisa foi realizada em cinco Florestas Estacionais onde, verificou-se as diferenças florísticas, gerando dois dendrogramas de similaridade utilizando a média de densidade de vegetação por parcela de cada distância em relação a borda (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 m). Para verificar diferenças entre os valores dos índices de vegetação (NDVI, GNDVI, EVI, SAVI, Umidade, PV, Emissividade e LST) em relação à distância para a borda da floresta em sentido ao seu interior, utilizou-se a média dos valores para cada distância da borda para o interior de cada fragmento florestal, foi gerado um dendrograma, uma (PCA) e foram realizadas regressões lineares e não lineares, para determinar o gradiente de borda nos fragmentos. Algumas das perguntas respondidas pelo estudo é a constatação que existe diferença perceptível entre borda e o interior da floresta quando a borda atinge 30-40 m em direção ao interior da floresta, tanto em estudos florísticos como nos índices de vegetação. O trabalho conclui, que as pesquisas de campo e sensoriamento remoto convergem, onde os índices que melhor refletem o efeito de borda em florestas são NDVI, EVI, e os índices PV e Umidade, sendo complementares para análise de qualidade de vegetação. O estudo propõe ainda, a adoção do uso de índices de vegetação durante a implantação do Programa de Regularização Ambiental – PRA, para que se tenha a real dimensão da Reserva Legal funcional, nas propriedades rurais, e formulação de estratégias para manutenção dos serviços ecossistêmicos destes fragmentos florestais.

**Palavras-chave:** Cerrado, Sensoriamento Remoto, Floresta Estacional Semidecidual.

## ABSTRACT

The edges of forest fragments are formed by natural or anthropic disturbances where these forest fragments in a rural matrix suffer pressure from the environment at different levels. However, there are few studies indicating the real size of the edge and how far its effects are perceived by the forest. The study aimed to evaluate the edge effect in forest fragments, using floristic studies and vegetation indices, determining the gradient (meters) in which the edge enters the forest fragment, and thus indicate the vegetation indices that best apply to edge effect studies. The research was carried out in five Seasonal Forests where floristic differences were verified, generating two dendrograms of similarity using the average density of vegetation per plot at each distance from the edge (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 m). To verify differences between the values of vegetation indices (NDVI, GNDVI, EVI, SAVI, Humidity, PV, Emissivity and LST) in relation to the distance to the edge of the forest towards its interior, the average of the values for each distance from the edge to the interior of each forest fragment was used, a dendrogram was generated, a (PCA) and linear and non-linear regressions were performed, to determine the edge gradient in the fragments. Some of the questions answered by the study is the finding that there is a noticeable difference between edge and forest interior when the edge reaches 30-40 m towards the forest interior, both in floristic studies and in vegetation indices. The study concludes that field and remote sensing research converge, where the indices that best reflect the edge effect in forests are NDVI, EVI, and the PV and Humidity indices, being complementary for vegetation quality analysis. The study also proposes the adoption of the use of vegetation indices during the implementation of the Environmental Regularization Program - PRA, in order to have the real dimension of the functional Legal Reserve in rural properties, and formulation of strategies for maintaining the ecosystem services of these forest fragments.

**Keywords:** Cerrado, Remote Sensing, Seasonal Semideciduous Forest.

## 1. INTRODUÇÃO

As Florestas Estacionais Semidecíduais (FES) são fundamentais para a proteção de grupos de espécies capazes de favorecer a manutenção da fauna e processos ecológicos (VALE et al., 2013) e como a conservação físico-química e biológica do solo, manutenção da biodiversidade, da qualidade de recursos hídricos (D'ABADIA et al., 2020). Em áreas rurais, devido a processos históricos de conversão de solo para agricultura, os remanescentes de vegetação são importantes refúgios mantenedores de serviços ambientais como a manutenção de biodiversidade, manutenção de vazão de cursos de água e volume de reservatórios, habitat para fauna e controle de microclima regionais (LIMA, 2013).

De modo geral essas florestas estão localizadas nas consideradas Áreas de Proteção Permanente (APP), quando associadas a recursos hídricos, florestas em topos de morro e encostas íngremes ou nas Reservas Legais (RL), quando se trata de florestas nos intervalos (LEI FEDERAL n° 12.561/12, 2012). No Novo Código Florestal, referente às áreas de manutenção obrigatórias em relação a áreas de reserva legal, ocorreram duas mudanças importantes, que na prática favorecem a redução de áreas efetivamente protegidas. A primeira refere-se ao computo das áreas de APP no cálculo das áreas destinadas a RL (TAMBOSI et al., 2015) e a segunda permite que em propriedades de até quatro módulos fiscais, a RL será representada pela vegetação existente até 22 de julho de 2008, logo quaisquer alterações anteriores a essa data são negligenciadas. Como as RL apresentam o maior passivo ambiental do setor agropecuário brasileiro (SOARES-FILHO, 2013) este cenário acarretou em aumento na taxa de desmatamento em diversos estados (AZEVEDO, 2013).

Estes fragmentos de florestas em matriz rural sofrem pressões do meio em diferentes níveis, um dos mais comuns é a retirada de parte da vegetação florestal para construção de estradas rurais ou inserção de cultivos (SANTOS, 2017). Desta forma, as árvores remanescentes no perímetro do fragmento ficam mais expostas a luminosidade e ações do vento tendo reduzida a umidade e aumentada a temperatura (LIMA RIBEIRO, 2008). Estas perturbações, naturais ou causadas pela ação humana, formam bordas nos fragmentos florestais. As bordas ocorrem naturalmente em quaisquer florestas, em transições de diferentes fitofisionomias, limite entre corpo hídrico, elevações de relevo com rochas amostra, ou contato com meio antropizado (SANTOS, 2017).

Estas regiões expostas a estes eventos em áreas agrícolas, podem ser chamadas de Borda Florestal devido ao contato do fragmento com a matriz antrópica, (FIGUEIRÓ, 2015). No estudo os fragmentos estão sofrendo efeitos de borda principalmente quando inseridas em matriz agrícola e podem ser definidas como a região de contato entre a matriz antrópica e o

fragmento de vegetação natural (WILLIAMS LINERA et al., 1998) e tem a importante função de “proteger uma área nuclear (Matriz florestal) conservada, à medida que a resguarda de interações negativas” (WILLIAMS LINERA et al., 1998). À medida que ocorre supressão vegetal, pode se dizer que a nova borda ocupará o novo perímetro reduzido florestal, sobrando menos área interna protegida (PSCHEIDT, 2018)

Para a vegetação remanescente outras consequências da formação de bordas artificiais (geradas pela ação do homem) são conhecidas como a proliferação de espécies pioneiras, diminuição de altura das espécies vegetais, alta mortalidade de árvores de grande porte e alterações nas funções antes desempenhadas por árvores de espécies protegidas agora desempenhado por indivíduos mais expostos a intempéries (LAURANCE, 2000; BARANEK, 2014).

Realçam que quanto maiores forem estas áreas de contato entre matrizes florestais e antrópicas, mais evidentes são as alterações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos do ecossistema (HIGUCHI et al., 2018). No entanto há poucos estudos demonstradores do real tamanho da borda e até onde seus efeitos são percebidos pela floresta. Os estudos sobre a viabilidade dos fragmentos florestais dão ênfase principalmente aos biomas Mata Atlântica e Amazônia (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009), ficando as florestas no Cerrado carentes de estudos que levem em conta suas especificidades ambientais (ASSUNÇÃO; FELFILI, 2004).

A maioria dos estudos acerca do efeito de borda são pesquisas realizadas em campo. Estes estudos podem ser onerosos e lentos quando executados somente em pesquisas realizadas in loco nas florestas e o sensoriamento remoto, através dos índices de vegetação, pode tornar mais célere e viável economicamente a realização das pesquisas e, assim, auxiliar na tomada de decisão para metodologia de conservação (DÖRNHÖFER; OPPELT, 2016).

Alguns destes índices de vegetação são frequentemente utilizados e retrataremos os utilizados neste estudo. A análise de vegetação por índices como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) utiliza a reflectância do espectro eletromagnético do vermelho (red), para indicar vegetação doente e saudável (BARBOSA, 2017). O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde - *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), utiliza a banda verde (*green*) para estimar a atividade fotossintética da vegetação (CÁRDENAS, 2018). O Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index* (EVI), é mais sensível ao sinal da vegetação verde, minimizando os efeitos do solo e da atmosfera, para determinação de fragmentos com vegetação mais saudável (FORMIGONI, 2011). O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), faz uma análise semelhante ao NDVI, mas traz uma

constante L que varia de 0 a 1, dependendo do tipo de cobertura do solo, e corrige interferências do efeito do solo (NEVES; MUCIDA, 2020), o índice de Proporção de Vegetação (PV) indica a proporção de vegetação de determinado trecho do fragmento florestal (%), podendo demonstrar visualmente a cobertura de dossel (BARBOZA et al., 2020), Emissividade permite identificar a proporção de vegetação verde e sadia (FERREIRA, 2021), e Temperatura da Superfície Terrestre - *Land Surface Temperature* (LST) permite detectar a temperatura da superfície terrestre nos locais da coleta de dados (AZEVEDO; BARBOSA, 2020). Todos os índices podem ser utilizados em conjunto ou separados para auxiliar na leitura e diagnóstico da floresta e para a determinação da área de Reserva Legal Funcional, que mantém seus serviços ecossistêmicos. Diferentes estudos têm demonstrado a eficácia destes índices (FERRARI et al., 2011; SCHWAIDA, et al., 2017).

O presente estudo irá buscar a comparação de fragmentos de 4 florestas inseridas na matriz agrícola, e uma área localizada em área de proteção para que possamos verificar as diferenças entre fragmentos em matriz rural, com os protegidos de eventos antrópicos. O intuito é realizar comparações entre os fragmentos florestais em relação aos dados adquiridos em campo com aqueles adquiridos via índices de vegetação para aferir 1) Existe diferenças florísticas e/ou dos índices de vegetação nos fragmentos a partir da borda a até 100m para o interior das florestas? 2) Se for perceptível a existência da borda, até quantos metros a borda atinge nestas florestas?

Os resultados das coletas feitas em campo foram confrontados com os obtidos durante o Sensoriamento Remoto através dos índices de vegetação, para confirmar sua eficácia pois acreditamos que ambas as metodologias, em conjunto, podem auxiliar na aferição de quais são as áreas de borda para que a viabilidade ecológica de um fragmento seja comprovada (denominados de Reserva Legal Funcional) e determinar quais os índices de vegetação são mais indicados para a análise de Florestas Estacionais Semidecíduais.

## 2. OBJETIVOS

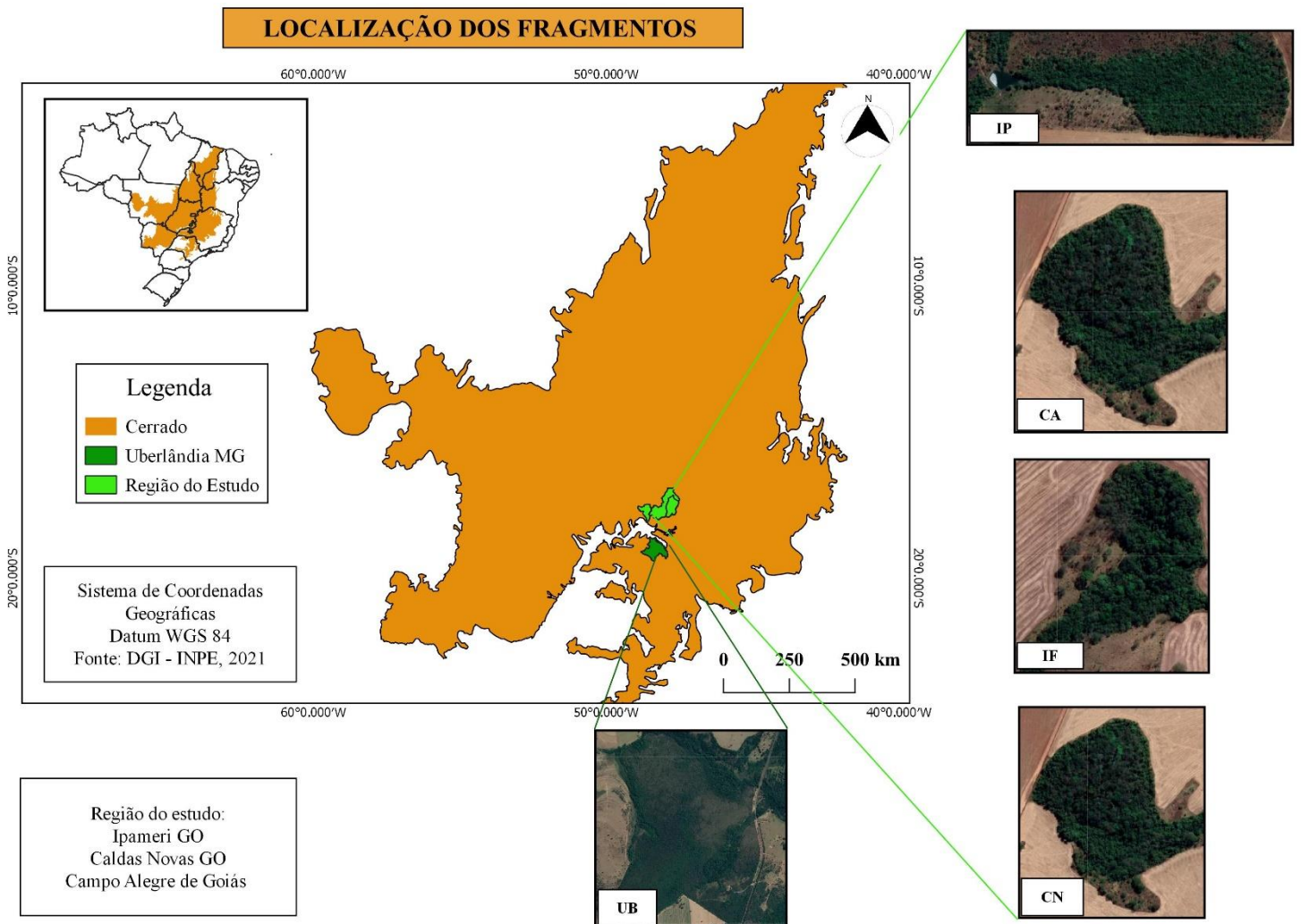
- Avaliar a existência do efeito de borda em fragmentos florestais no Brasil Central, por meio de estudos em campo e índices de vegetação;
- Comparar estudos em campo com o sensoriamento remoto, para determinar metodologias de monitoramento e planejamento ambiental para florestas do bioma Cerrado.



- Determinar qual é a largura (tamanho) da borda e até quantos metros conseguimos destacar a borda de vegetação em relação a vegetação existente no interior das florestas.
- Indicar quais índices de vegetação melhor se aplicam a estudos de efeito de borda, em fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais inseridas no domínio do Cerrado.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em cinco diferentes Florestas Estacionais Semidecíduais (FES) presentes no domínio do Cerrado. Quatro áreas são remanescentes inseridas em locais de agricultura e uma área de proteção ambiental (Figura 01).



**Figura 1.** Fragmentos de florestas estacionais semidecíduais amostrados neste estudo. Fragmentos: IP = UEG - Ipameri, CA = Campo Alegre GO, IF = Zona Rural de Ipameri GO, CN = Rodovia que conecta a Caldas Novas -GO, UB = Área Controle – Uberlândia MG.

As 4 FES estudadas e inseridas em uma matriz agrícola se encontram espalhadas na microrregião do município de Ipameri GO (tabela 01).

Tabela 01 – Identificação das áreas de fragmentos estudados e área de controle

<b>Fragmento</b>	<b>Localização</b>	<b>Sigla</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Área (Hectares)</b>
01	UEG - Ipameri	IP	19°10'06.600''	48°23'40.880	15,2
02	Campo Alegre GO	CA	17°45'49.330''	: 48°02'40.820''	21,5
03	Zona Rural de Ipameri GO	IF	17°39'52.870''	48°04'19.480''	3,80
04	Rodovia que conecta a Caldas Novas -GO	CN	17°43'48.415''	48°12'38.250''	12,2
05	Área Controle – Uberlândia MG	UB	19°10'06.600''	48°23'40.880	403,85

Fonte: SIRGAS 2000, com Meridiano Central = -51, Fuso UTM = 22.

A região dos fragmentos segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo tropical quente e úmido (Aw), com médias pluviométricas anuais de 1.531 mm, que durante o ano se espalhada de forma desigual, em um verão quente e chuvoso, nos meses de outubro a março, chegando a ter médias de 219 mm mensais, e um inverno seco de abril a setembro com médias de 36 mm mensais (PEEL et al., 2007).

As médias de temperatura variam de 20.2 °C, no inverno, e 22.9 °C no verão (ALVARES et al., 2014) e possui solo predominantemente, Latossolo Vermelho-amarelo com textura argilosa (SANTOS et al., 2018), segundo o Sistema de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

A área controle é uma Reserva Particular do Patrimônio Nacional – RPPN, criada pela Portaria 072/97-N - DOU 127 - 07/07/1997 - seção/pg. 01 - 14219, denominada “Reserva Ecológica do Panga”, localizada a cerca de 30 km ao sul do centro da cidade de Uberlândia, às margens da rodovia MG-455. O clima da região também é do tipo Aw (assim como os fragmentos florestais), apresentando um inverno seco e um verão chuvoso, com variação de pluviosidade de 60 mm no mês mais seco, e no mês mais chuvoso, em torno de 250 mm, e o total anual médio, entre 1.500 e 1.600 mm (PRADO, 2016), logo bastante semelhante aos fragmentos estudados. Na região, são encontrados principalmente Latossolos Vermelho-Escuros, variando de moderados a fortemente ácidos (COSTA, 2001).

### 3.1. Amostragem da comunidade arbórea

Em cada uma das FES amostradas, foram fixados 3 transectos com 10 parcelas fixas de 10 m x 10 m cada uma, totalizando uma área amostral de 0,3 ha (3.000 m<sup>2</sup>) por área amostral, estas áreas foram demarcadas no sentido borda - matriz florestal (Figura 02), para a demarcação utilizou -se estacas de ferro, fita e barbante. A distância entre transectos é de no mínimo 50 m.



Legenda : ▣ Parcela → Sentido da coleta de dados

**Figura 2.** Exemplos de extração de dados em fragmentos florestais do sudeste de Goiás, próximo a Ipameri – GO. Linhas amarelas representam o sentido da ordem de coleta de dados, nos transectos e os quadrados os pontos amostrais dos quais foram realizados a coleta de dados.

Nas parcelas todos os indivíduos arbóreos vivos possuidores de circunferência a 1,30 m em relação ao solo iguais ou superiores ( $\geq$ ) a 15 cm foram mensurados, amostrados e identificados com placa de alumínio enumerada. A identificação das espécies, foi realizada em campo ou posteriormente por outros especialistas, para isso, realizou-se a coleta de material botânico e a preparação e confecção de exsicatas para identificação. A estimativa de altura foi feita com a assistência de podão de coleta de 14 m e clinômetro Haglof.

### 3.2. Estatística da comunidade arbórea

Para verificar se existem diferenças florístico-estruturais em cada floresta, foram realizados dois dendrogramas de similaridade utilizando a médias densidades de vegetação por parcela de cada distância em relação a borda (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 m) em cada fragmento florestal. O primeiro dendrograma foi

realizado utilizando-se o coeficiente de Jaccard, transformando-se os dados para presença-ausência e o segundo utilizando o índice de Morisita-Horn. O principal intuito desta análise foi verificar a possibilidade de separarmos parcelas mais marginais (chamadas de borda) daquelas mais protegidas no interior da floresta e em relação a variações florísticas e de número de indivíduos por espécies.

### **3.3. Análise do Sensoriamento Remoto**

As áreas amostradas foram analisadas por meio do sensoriamento remoto cuja metodologia adotada segue as seguintes etapas.

#### **3.3.1. Imagens**

As imagens foram adquiridas junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S.G.S. – United States of Geological Survey*, 2020), imagens de domínio público em um período de 2016 até 2018, anos das coletas dos dados fitossociológicos, com o filtro de nuvens a menos de 1% de cobertura, para determinar a influência do efeito de borda nas Florestas Estacionais Semidecíduais (FES) presentes no domínio do Cerrado.

O estudo inclui 2 satélites Sentinel 2 (S-2) preparados para fornecer aquisições globais sistemáticas de imagens multiespectrais de alta resolução (DELEGIDO, 2011), usados para geração dos valores dos índices diretamente ligados a vegetação, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde - *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), Índice de Vegetação Melhorado - Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e Índice de Umidade da Vegetação (umidade), todos se utilizam de bandas com resolução de 10 m x10 m, por pixels. Foram coletados dados das parcelas seguindo a metodologia da amostragem da vegetação.

Para a tomada de dados dos índices relacionado a parâmetros ambientais Temperatura da Superfície Terrestre - *Land Surface Temperature* (LST), Proporção de Vegetação (PV), emitância (“e”), foi utilizado o satélite Landsat 8, devido a suas bandas termiais, imagens adquiridas com resolução espacial, pancromático P&B: 15,0 m (bandas 8); Multiespectral: 30,0 m (banda 1-7 e 9); Termal: 100,0 m (bandas 10-11), foi feita a correção atmosférica pelo método de transferência radiativa (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral*

*Hypercubes – FLAASH*) com os dados de reflectância no topo da atmosfera (TOA) sem correção atmosférica (CARVALHO, 2015).

### 3.3.2. Geoprocessamento das imagens

A tomada dos índices foi realizada, com o software ArcGIS 10.5, que é um pacote da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI - Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais dos Estados Unidos) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (ESRI, 2020). O ArcGIS 10.5, possui o módulo funcional ArcMap, que dispõe a utilização das ferramentas do ArcToolbox, ambiente que foi utilizado para as análises de sensoriamento remoto (ESRI, 2020).

Para a organização dos dados, foi criando um projeto no SIG ArcGIS 10.5 composto pelos seguintes layers (camadas analisadas): Limites dos municípios de Ipameri GO e Uberlândia MG, todos ajustados para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000 e Fuso 22 S. Este critério foi estabelecido para que o mapa siga uma padronização cartográfica, e para cada um dos índices foram gerados mapas explicativos para cada área estudada.

Para cada área florestal, foi convencionado a marcação de pontos a cada 10 metros, seguindo a ordem da coleta de dados fitossociológicos, partindo da borda para o interior, formando linhas com pontos de amostras de (0-10), (10-20), (20-30), (30-40), (40-50), (50-60), (60-70), (70-80), (80-90), (90-100) , sendo que os dados foram retirados de cada ponto amostrado (Figura 02), após a criação do shape de linhas os índices foram calculados e amostrados em planilhas.



Legenda : ■ Parcela ↑ Sentido da coleta de dados ● Pontos amostrais do sensoriamento remoto.

**Figura 3.** Exemplo de extração de dados em fragmentos florestais do sudeste de Goiás, próximo a Ipameri GO. Linhas amarelas representam o transecto e os pontos amostrais em vermelho dos quais foram realizados a coleta de dados para o sensoriamento remoto.

### 3.4. Índices de Vegetação.

#### 3.4.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

As bandas de sensoriamento de vegetação usadas para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada são (Banda 8 – Infravermelho próximo - NIR, Band 4 – Vermelho) com resolução espacial de 10 m com uma precisão radiométrica de <5% e cobertura de nuvens a no máximo 10 % e operando com resolução radiométrica de 12 bits o que é adequado para vegetação (TUCKER, 1980).

Para obtenção do NDVI, foi aplicado o algoritmo proposto por Rouse et al. (1973) que consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho dividido pela soma dessas duas bandas como mostra a seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

NIR = Infravermelho próximo

Red = espectro eletromagnético vermelho.

#### 3.4.2. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde - *Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)*

As bandas de sensoriamento de vegetação usadas para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde são ( Banda 8 – Infravermelho próximo, Band 3 – Verde) com resolução espacial de 10 m com uma precisão radiométrica de <5% e cobertura de nuvens a no máximo 10 % e operando com resolução radiométrica de 12 bits.

O índice utiliza-se da banda verde (*green*) para estimar a atividade fotossintética da área de estudo (YAWATA, 2019).

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$$

Onde:

GNDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde; NIR= Infravermelho próximo;

Green = espectro eletromagnético verde.

### 3.4.3. Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index* (EVI)

As bandas de sensoriamento de vegetação usadas para o Índice de Vegetação Melhorado são ( Banda 8 – Infravermelho próximo (*Red*), Band 4 – Vermelho e Band 2 – Azul (*Blue*) com resolução espacial de 10 m com uma precisão radiométrica de <5% e cobertura de nuvens a no máximo 10 % e operando com resolução radiométrica de 12 bits.

O EVI é obtido pela seguinte equação (DA SILVA JÚNIOR, 2019):

$$EVI = G * (NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * Blue + L)$$

Onde:

EVI = Índice de Vegetação Melhorado;

L = 1, fator de ajuste do solo;

C = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera, sendo C1 = 6, C2= 7,5;

G = 2,5, Fator de ganho;

NIR= Infravermelho próximo;

Red= espectro eletromagnético vermelho;

Blue= espectro eletromagnético azul.

O EVI contém um fator de ajuste para solos (L), e dois coeficientes (C1 e C2), que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis. Os valores dos coeficientes (L, C1 e C2) são empiricamente determinados, e assumem valores de 1,0; 6,0; e 7,5, respectivamente.

### 3.4.4. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI)

As bandas de sensoriamento de vegetação usadas para o Índice de Vegetação Ajustado pelo Solo (Banda 8 – Infravermelho próximo, Band 4 – Vermelho) com resolução espacial de 10 m com uma precisão radiométrica de <5% e cobertura de nuvens a no máximo 10 % e operando com resolução radiométrica de 12 bits.

Este é um índice de vegetação que tenta minimizar as influências do brilho do solo usando um fator de correção do brilho do solo (RIBEIRO, 2020).

$$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) * (1 + L)$$

Onde:

R = refletância;  
 NIR= Infravermelho próximo;  
 Red = espectro eletromagnético vermelho;  
 L= 0,5 quantidade de cobertura vegetal verde Intermediária, adotado para Floresta Estacional Semidecidual.

### **3.4.5. Índice de Umidade da Vegetação (Umidade)**

As bandas de sensoriamento de vegetação usadas para o Índice de Umidade da Vegetação (Banda 8A – Infravermelho próximo, Band 11 – infravermelho de ondas curtas SWIR) com resolução espacial de 20 m com uma precisão radiométrica de <5% e cobertura de nuvens a no máximo 10 % e operando com resolução radiométrica de 12 bits.

Usado para encontrar o estresse hídrico nas plantas. Ele usa ondas curtas e infravermelho próximo para gerar um índice de umidade da vegetação. Em geral, a vegetação mais úmida tem valores mais altos. Porém, valores mais baixos do índice de umidade sugerem que as plantas estão sob estresse devido à umidade insuficiente (FRANCISCO, 2019).

$$\text{Índice de Umidade} = (\text{VRE} - \text{SWIR}) / (\text{VRE} + \text{SWIR})$$

Onde:

VRE= Vegetation Red Edge;

SWIR = Infravermelho de ondas curtas.

## **3.5. Índices Ambientais**

Estes cálculos necessitam de uma sequência de processamentos, para chegar aos cálculos dos índices analisados, necessitam de imagens termais, que foram obtidas do satélite Landsat 8, através da banda termal, Banda 10, com resolução espacial de 100 m.

Os índices extraídos foram os descritos a seguir

### **3.5.1 Proporção de Vegetação (PV)**

A Proporção de Vegetação é determinada pela razão da diferença do índice de NDVI e seu valor mínimo, pela diferença do máximo e mínimo NDVI, (WANG et al., 2015), quanto mais próximo a 1, mais o valor indica uma maior densidade de vegetação no local.

$$PV = [(\text{NDVI} - \text{NDVI min}) / (\text{NDVI máx.} - \text{NDVI min})]^2$$



Onde:

PV = Proporção de Vegetação;

NDVI = NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NDVI min = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada mínimo;

NDVI máx. = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada máximo.

### 3.5.2. Emissividade “e”

A emissividade indica proporção de vegetação verde e sadia, índices próximos a 1 indicam, vegetação mais densa. E é dado de acordo com a seguinte equação (SILVA, 2009).

$$e = 0,004 \times Pv + 0,986$$

0,986 = é a média da emissividade para vegetação (0,97) e solo nu (0,99) (SOBRINO et al, 2004).

Pv = Proporção de vegetação.

0,004 = Constante de emissividade

### 3.5.3. Temperatura da Superfície Terrestre – *Land Surface Temperature (LST)*

A temperatura da superfície terrestre pode ser estimada a partir das bandas termais (bandas 10 e 11) do Landsat 8. Para tal cálculo, é requerida uma série de equações através da Raster Calculator no ArcGIS. Ela nós oferecemos os dados de temperatura superficial retirado de cada ponto, retirado dos transectos até o ponto 10.

$$LST = (BT / (1 + (\lambda * BT / C2) * \ln(e)))$$

Onde:

BT = *Brightness Temperature* (temperatura de brilho - calculado previamente)

$\lambda$  = Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) = 10,895  $\mu\text{m}$

$C2 = (h \times c) /$

$s = 14388 \mu\text{m/k}$

$h = \text{cte. de Planck} = 6,626 * 10^{-34} \text{ Js}$

$s = \text{cte. de Boltzmann} = 1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

$c = \text{velocidade da luz} = 2,98 * 10^8 \text{ m/s}$

Síntese da equação:

$$LST = "BT" / (1 + (10.895 * "BT" / 14388) * \ln("e"))$$

### 3.6. Procedimento para obtenção de índices

A primeira etapa foi a criação de um Raster de COR natural (auxilia a visualização das áreas):

- *Composit Bands* (Imagem de cor natural – band 4, band 3, band 2);
  - Band 4 = Vermelho, de resolução – 10 m.
  - Band 3 = Verde de resolução – 10 m.
  - Band 2 = Azul de resolução – 10 m.

Após gerar o raster (dados matriciais de imagem), de cor natural com 10 m de resolução, foram calculados os índices de (NDVI, GNDVI, SAVI, EVI), os demais índices foram tomados pela extração dos valores dos pontos marcados em cada transecto.

Todos os índices após serem calculados passaram pelo procedimento de geração dos *rasters* (dados matriciais de imagem) com mesma escala (0 a 100 m), e depois a criação de pontos, que atravessavam as matas ponto a ponto, de lado a lado a cada pixel de 10 m x 10 m. Criados os shapfiles era usada a ferramenta *Expract multi value to points* e para se inserir coordenadas a ferramenta ADD XY. Após estes procedimentos para gerar a planilha de Excel foi usada a ferramenta Tablet o Excel, para compilação dos dados.

### 3.7. Classificação das imagens

A conversão de imagens *raster* multi - banda em um *raster* de banda única com várias classes categóricas que se relacionam de acordo com o tipo de cobertura .Cada índice gerou um mapa de contraste, o método utilizado foi o de classificação supervisionada, onde o arranjo é feito usando assinaturas espectrais (valores de reflectância) obtidos a partir das amostras, e para cada foram utilizados 15 rótulos de cores, escolhidos de acordo com a simbologia utilizada para cada tipo de índice (RODRIGUES, 2014).

### 3.8. Estatística das imagens de satélite

Para verificar se existe diferenças entre a média dos valores dos índices de vegetação (NDVI, GNDVI, EVI, SAVI, Umidade, PV, Emissividade e LST) adquiridos pelas imagens de satélite, utilizando todos os dados de todas as parcelas amostradas, foram testados a homogeneidade dos dados e a normalidade (Anexo 01) foram realizadas análises de variância entre os fragmentos florestais e uma área controle localizada em uma Reserva Particular do

Patrimônio Nacional. O teste a posteriori de Tukey foi realizado para verificar diferenças entre cada fragmento analisado.

Para verificar diferenças entre os valores dos índices de vegetação (NDVI, GNDVI, EVI, SAVI, Umidade, PV, Emissividade e LST) em relação à distância para a borda da floresta em sentido ao seu interior, utilizando a média dos valores para cada distância da borda para o interior de cada fragmento florestal analisado (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100), foram realizadas regressões lineares e não lineares (logarítmica, polinomial e potencial). O melhor modelo de regressão apresentado foi aquele com maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

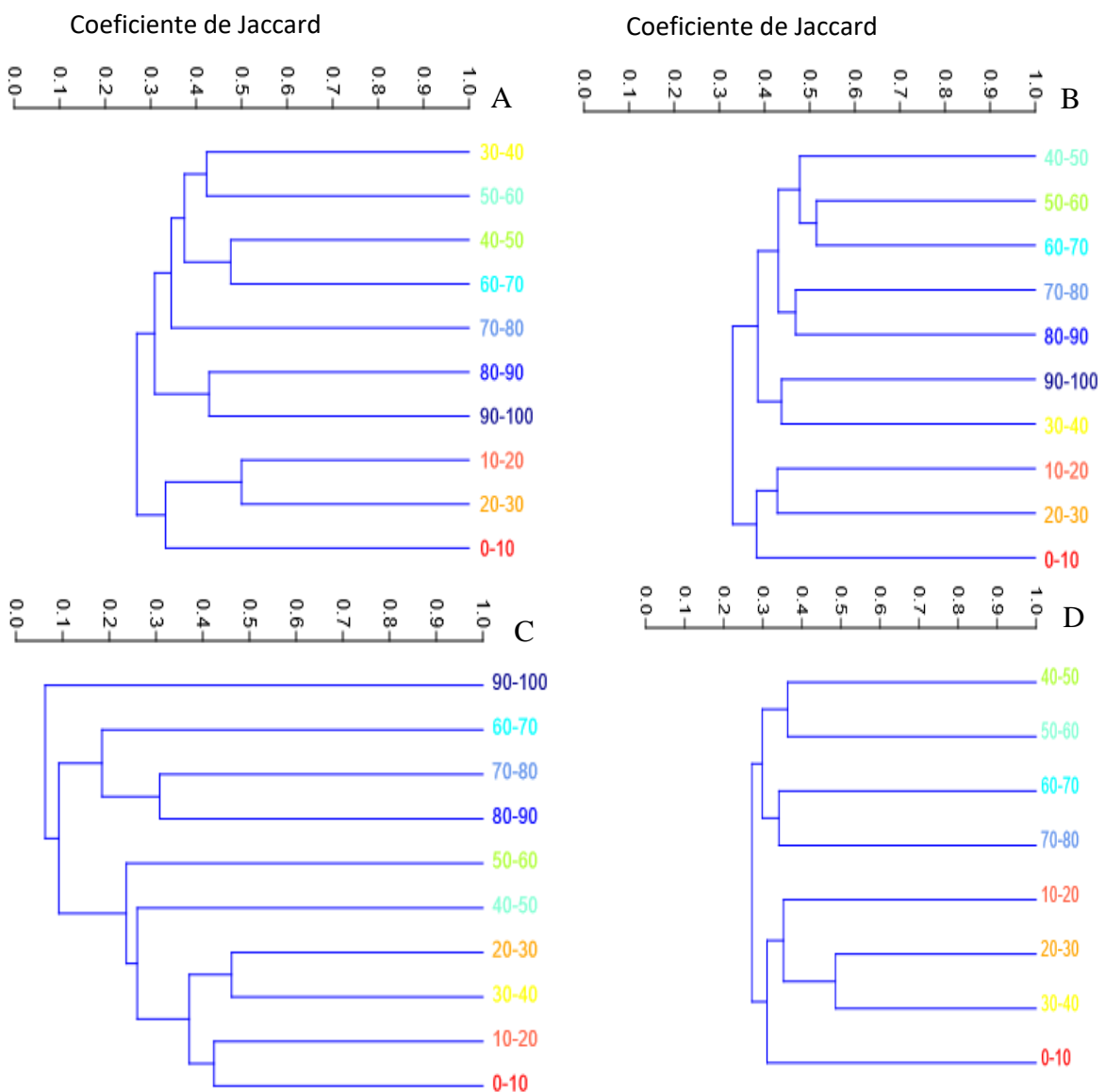
Para verificar canonicamente se existe a possibilidade de distinção da borda para o interior das florestas foi realizado uma Análise de Componentes Principais (PCA). Previamente foram realizadas análises de correlação de Pearson entre os valores dos índices de vegetação. Quando ocorreram variáveis com forte correlação (acima de 0,9) tem a mesma explicação no PCA, foram retiradas variáveis até ficar apenas uma. Por exemplo, como SAVI, GNDVI tiveram forte correlação com NDVI, retiramos SAVI e GNDVI. O mesmo em relação a emissividade com PV, onde optamos por retirar a emissividade. Retiramos a LST da análise por não apresentar relação significativa ao longo das distâncias da borda para o interior da floresta. Por fim, utilizando a média dos valores para cada distância da borda para o interior em cada fragmento analisado (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100), foram realizadas a PCA com as variáveis restantes (NDVI, EVI, Umidade e PV).

Para verificar a existência de grupos definidos de parcelas e o tamanho das diferenças entre as parcelas da borda para o interior da floresta foi realizado um Dendrograma de Similaridade utilizando a média dos valores de índice de vegetação das parcelas de cada distância da borda para o interior em cada fragmento analisado (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 m) utilizando a Distância de Gower. Neste caso, cada índice possui suas próprias variações e o Índice de Gower é mais indicado em relação a outros métodos de agrupamento (PODANI, 1999; ŠULC, 2017). A técnica de agrupamento utilizado foi a média de grupo (UPGMA).

## 4. RESULTADOS

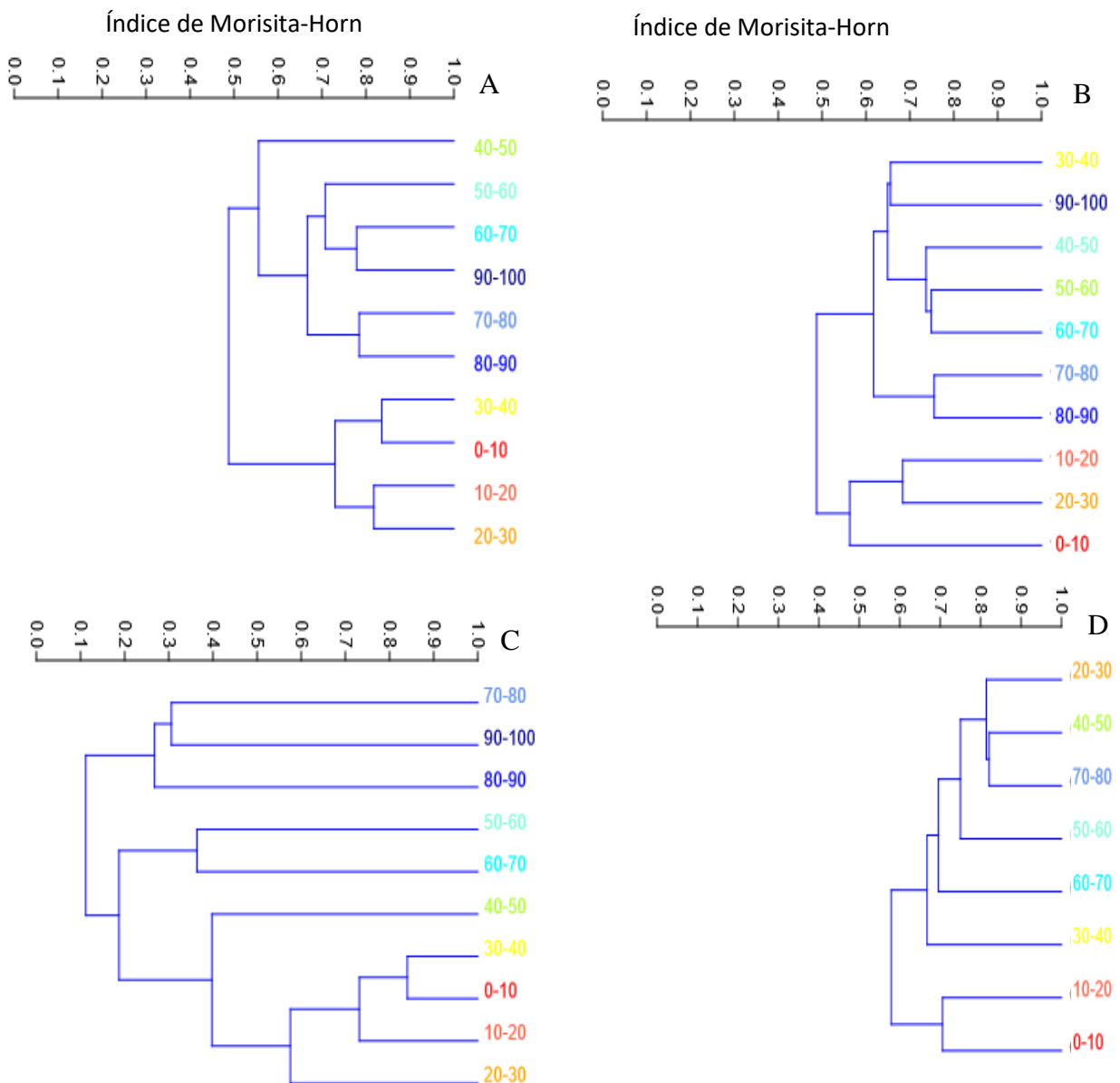
### 4.1. Análise da comunidade arbórea

Os dendrogramas de similaridade baseados em Jaccard demonstraram que a composição florística dos primeiros 30 – 40 m para o interior da floresta tende a ser diferente dos demais setores florestais. Em duas florestas IP e CA, a separação ocorreu nos 30 m (Figuras 4A e 4B) em outras duas IF e CN nos 40 m (Figuras 4C e 4D). No entanto, a separação de grupos ocorreu entre parcelas de 0-60m e entre 60-90 m, indicando que a borda pode chegar a distâncias superiores aos 40 m.



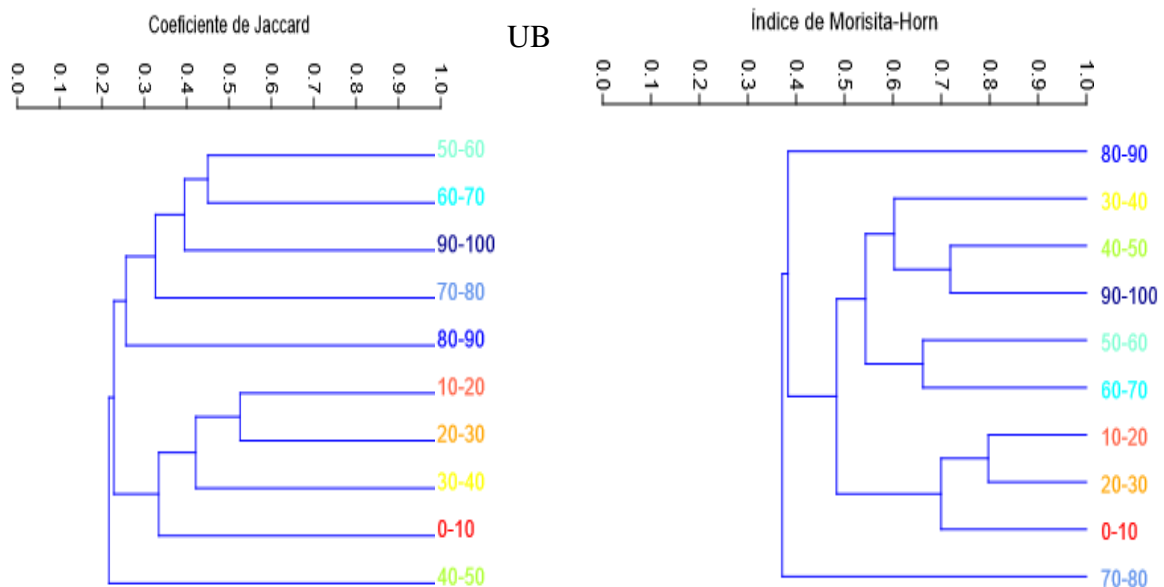
**Figura 4.** Dendrograma de Similaridade para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Coeficiente de Jaccard e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento CN.

Os dendrogramas de similaridade baseados em Morisita-Horn também demonstraram que a composição florística dos primeiros 30 – 40 m para o interior da floresta tende a ser diferente dos demais setores florestais. Isto ocorreu para duas florestas IP e IF (Figura 5A e 5C). Em uma floresta CA esta diferenciação ocorreu aos 30 m (Figura 5B) e em uma CN ocorreu aos 20 m (Figura 5 d). No entanto, a separação de grupos ocorreu entre parcelas de 0-70 m e entre 70-100 m, indicando que a borda pode chegar a distâncias superiores aos 40 m.



**Figura 5.** Dendrograma de Similaridade para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Índice de Morisita-Horn e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento CN.

Para a floresta localizada em área protegida UB também foi possível a distinção entre borda e interior da floresta até 40 m pela análise de presença ausência (Figura 6A) e até 30 pela análise estrutural (Figura 6B). Logo, mesmo florestas localizadas em áreas protegidas é possível a distinção florística e de estrutura entre borda e interior da floresta.

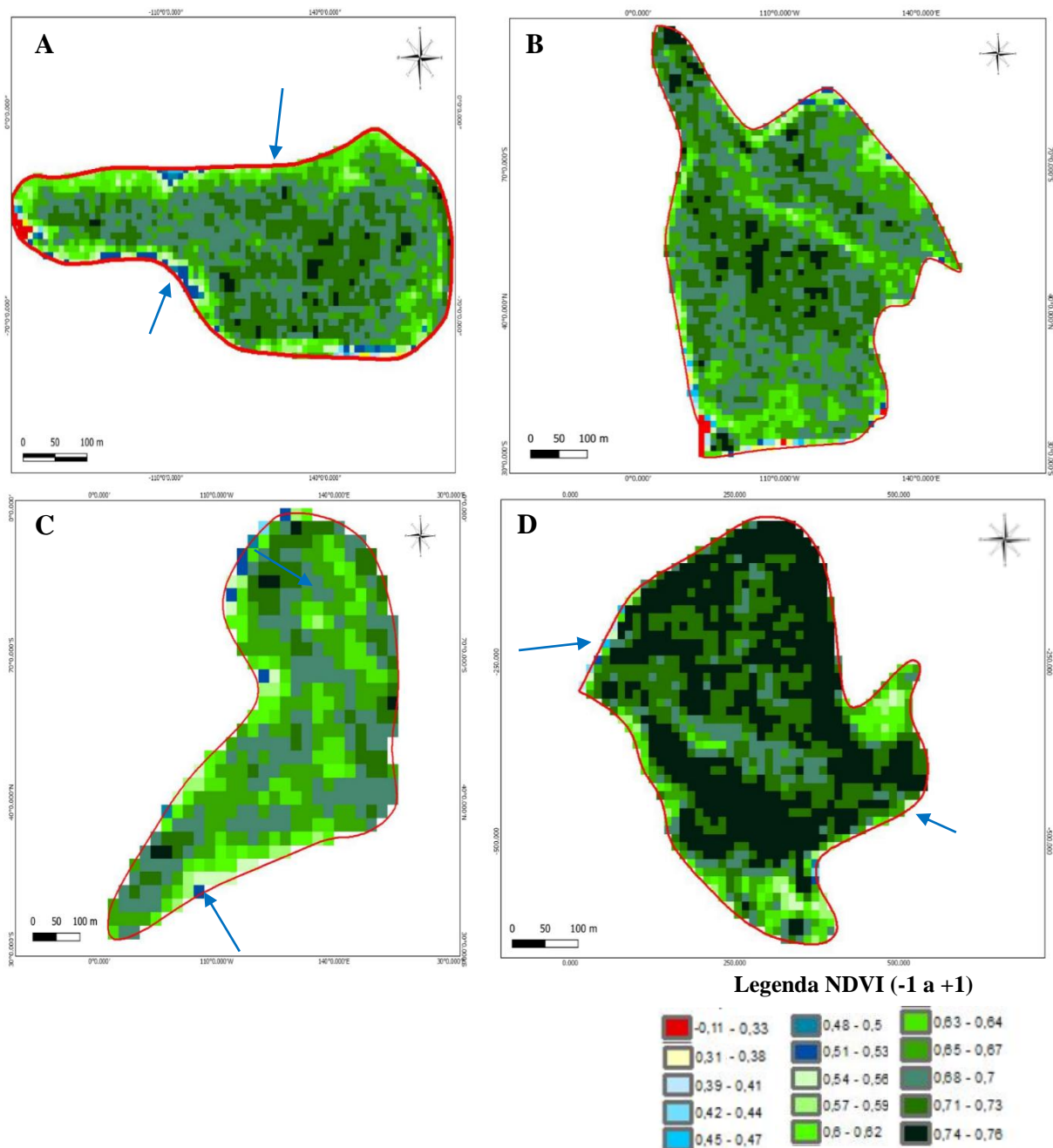


**Figura 6.** Dendrograma de Similaridade para fragmentos florestal em área de proteção ambiental (UB) no Triângulo Mineiro utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o Coeficiente de Jaccard e o Índice de Morisita-Horn e a m média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos.

## 4.2. Índices de vegetação

### 4.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

A figura 07 mostra a classificação dos índices de NDVI. Ocorreram valores de NDVI, entre -0,11 e 0,53, sobretudo em algumas regiões de borda que podem indicar zonas com clareiras e recortes na borda da floresta (Figura 7A, 7B e 7C). De modo geral os valores na borda variaram, em maioria, de 0,54 a 0,62 com valores maiores variando entre 20 m a 40 m adentro da floresta. Dos fragmentos florestais CN possuiu os maiores valores de NDVI e IF os menores, podendo indicar que os fragmentos florestais com maiores índices de NDVI, encontram em melhor estado de conservação. Em CA (Figura 7B) é perceptível uma faixa com valores inferiores de NDVI no interior da floresta.

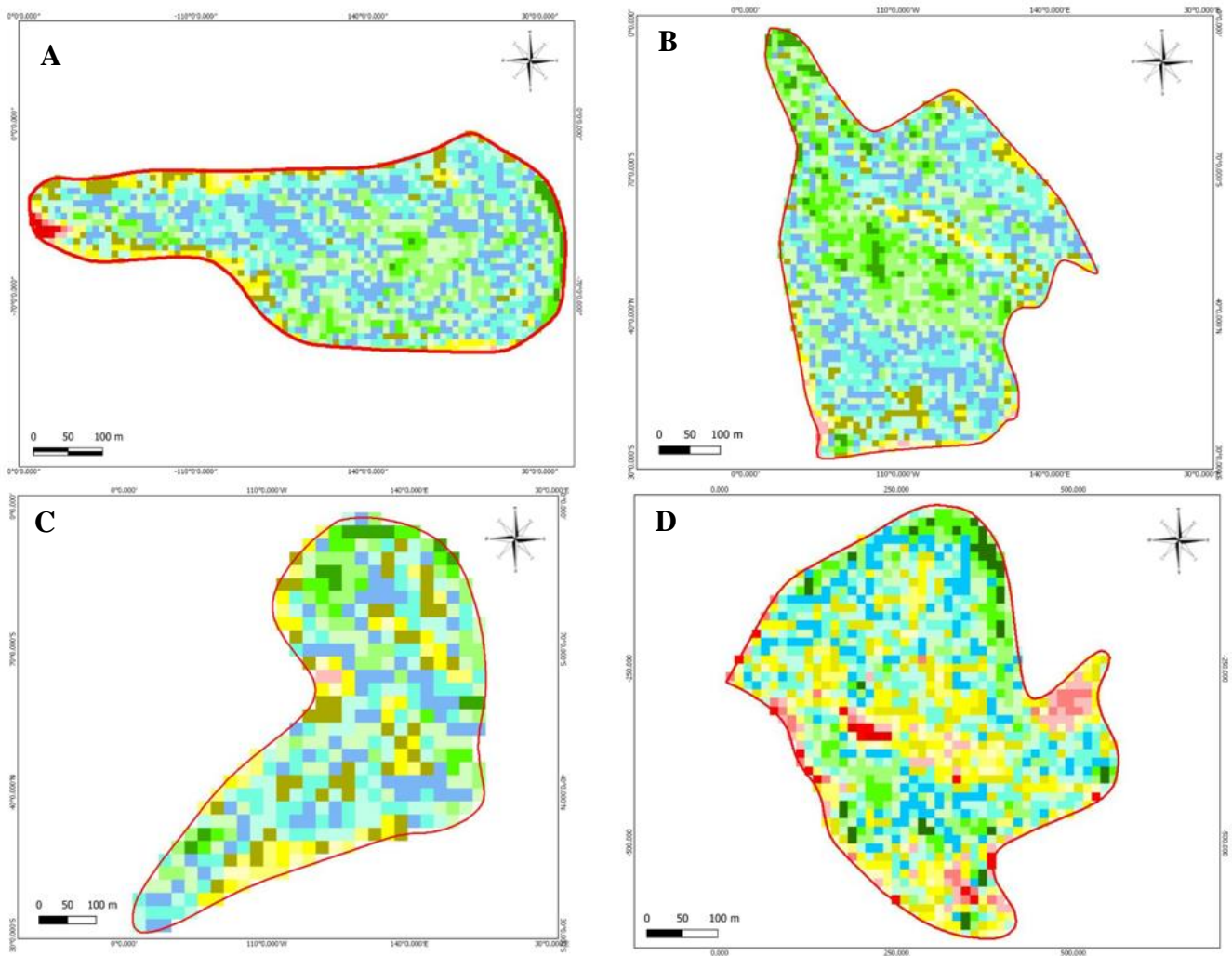


**Figura 7.** Mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Setas azuis indicam valores muito baixos. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

#### 4.2.2. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde - *Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)*

A figura 08 mostra a classificação dos índices de GNDVI. Nas áreas IP, IF e CA valores inferiores a 0,47 foram concentrados em diversas, mas não todas, regiões da borda (Figura 8A, 8B e 8C). Nestas florestas as regiões interiores da floresta estiveram, em maior

parte, entre 0,50-0,59. Em todas as florestas valores acima de 0,57 foram encontrados em uma determinada região das bordas. Em CN (Figura 8D) ocorreram diversos valores abaixo de 0,47 no interior da floresta.



**Legenda GNDVI (-1 a +1)**

-0,3 - -0,061	0,44 - 0,45	0,53 - 0,54
-0,06 - 0,17	0,46 - 0,47	0,55 - 0,56
0,18 - 0,29	0,48 - 0,49	0,57 - 0,57
0,3 - 0,38	0,5 - 0,51	0,58 - 0,59
0,39 - 0,43	0,52 - 0,52	0,6 - 0,63

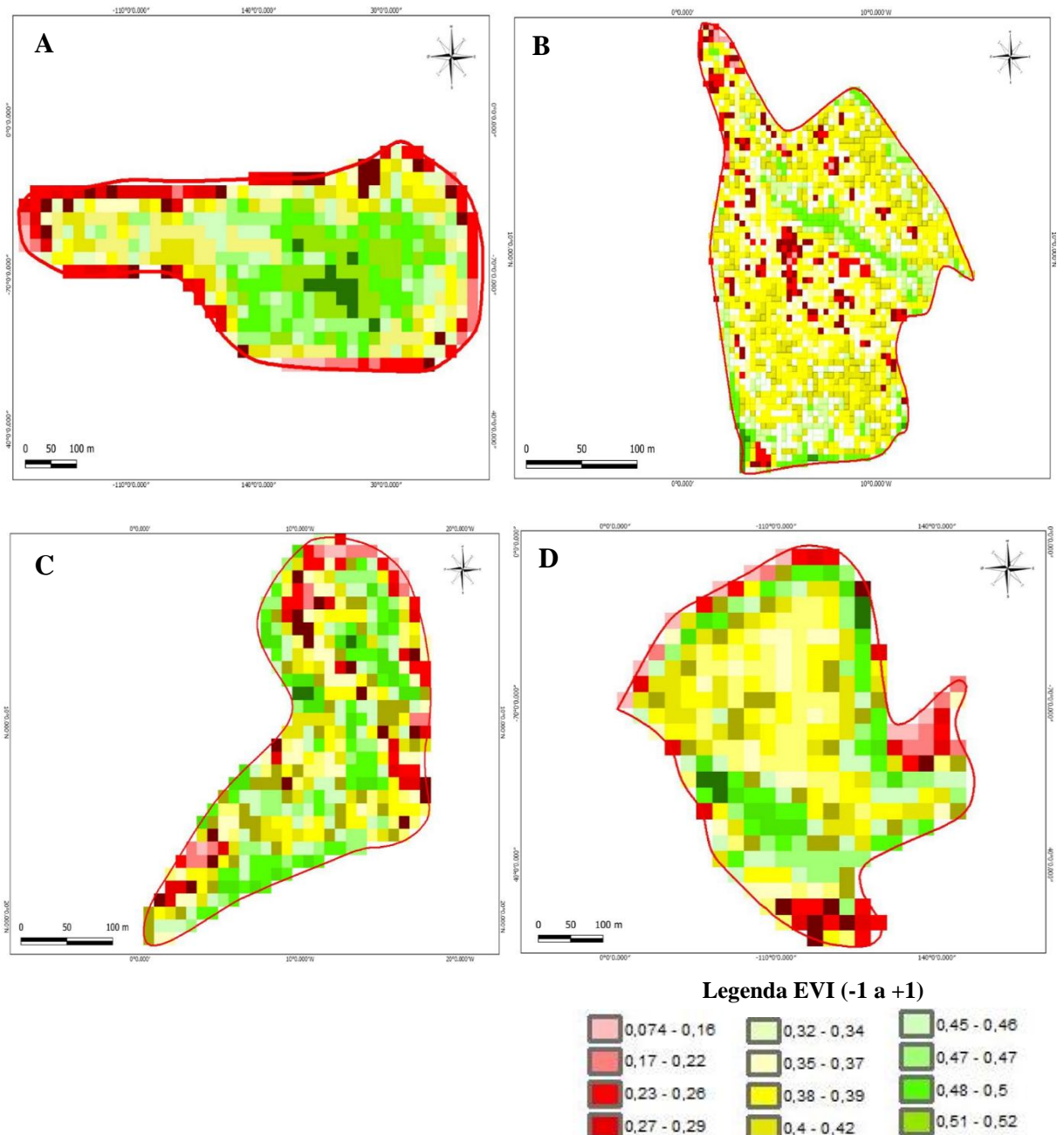
**Figura 8.** Mapas de Vegetação de Diferença Normalizada Verde (GNDVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de NDVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Setas amarelas indicam regiões da borda com valores mais baixos e setas verdes regiões da borda com mais altos de GNDVI. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

#### 4.2.3. Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index* (EVI)

A figura 09 mostra a classificação dos índices de EVI. Em diversas regiões de borda foram percebidos valores inferiores a 0,31 em IP, IF e CN, porém menos perceptível em CA



que possuiu estes valores também no interior da floresta. Em CA e IF (Figuras 9B e 9C) houve regiões de borda com valores superiores ao interior.

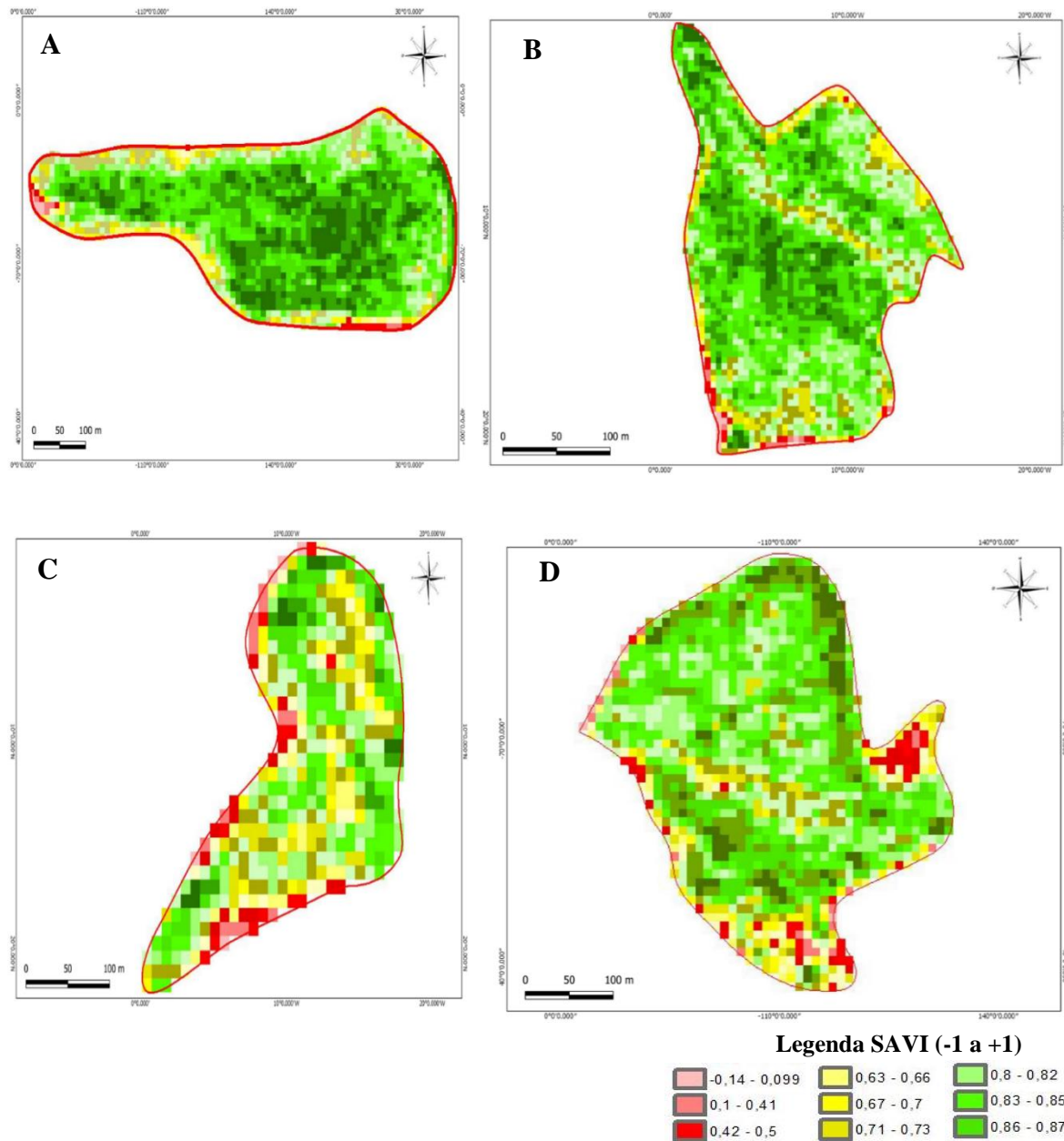


**Figura 9.** Mapas Índice de Vegetação Melhorado (EVI) para fragmentos de florestas estacionais-semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de EVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP. B = CA. C= IF. D = CN.

#### 4.2.4. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - *Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*

A figura 10 mostra a classificação dos índices de SAVI. Os valores de SAVI apresentaram os mesmos padrões do NDVI. Com a variação de cobertura do solo que vai de

solo com baixa cobertura vegetal (0,42 até 0,57) e solo com alta cobertura florestal (0,77 até 0,95), com tendência a maior cobertura vegetal no interior da floresta, mas com algumas áreas de borda apresentando cobertura florestal superior a 0,77.

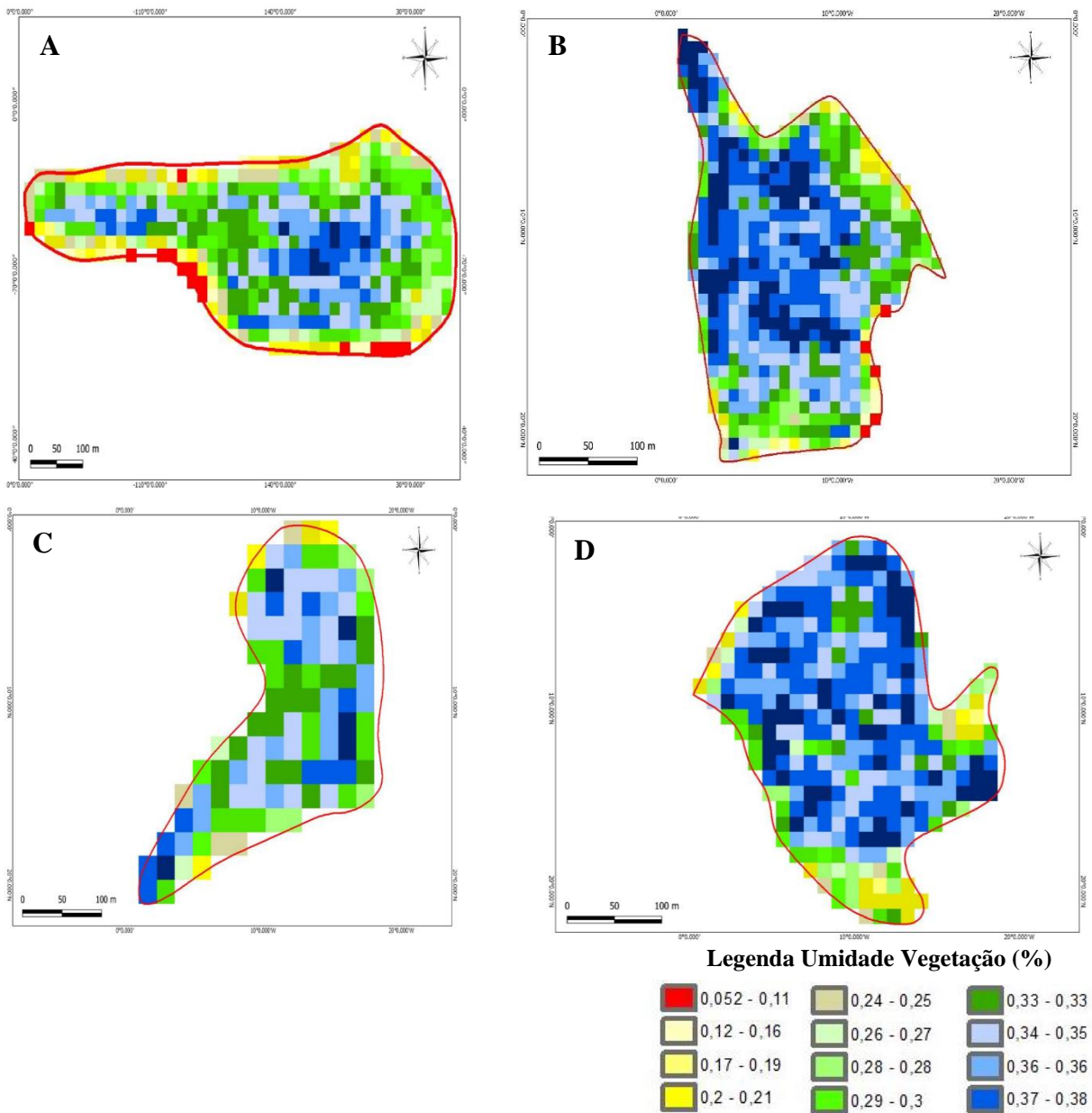


**Figura 10.** Mapas Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de EVI variam de -1 a +1. Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

#### 4.2.5. Índice de Umidade da Vegetação (Umidade)

A figura 11 mostra a classificação dos índices de umidade. De modo geral áreas menos úmidas (menores de 23% de umidade) se localizam nas bordas. Em CA e CN é

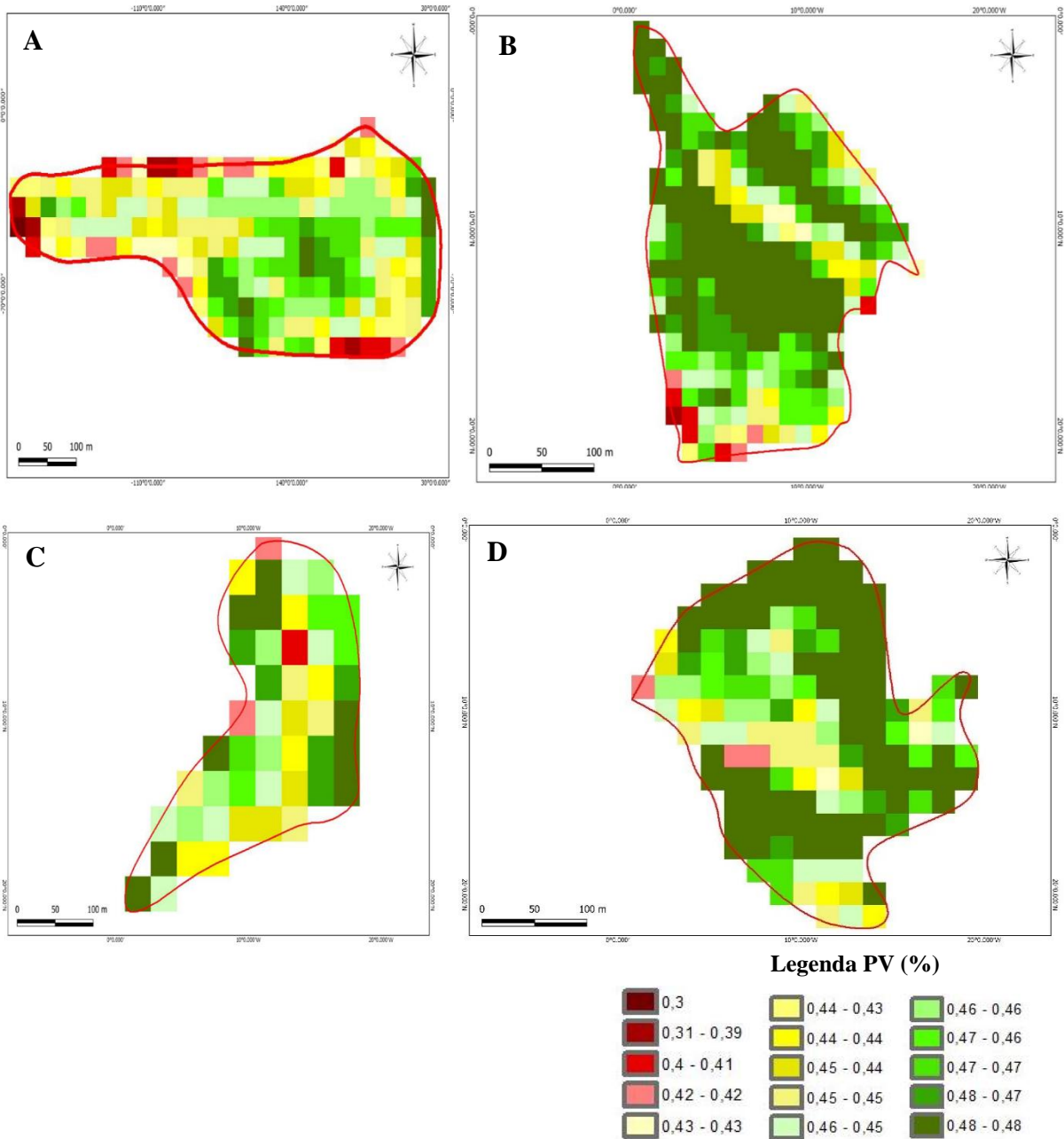
perceptível setores da borda com elevada umidade, no caso de CN ocorre devido a um pequeno córrego no local com grande umidade.



**Figura 11.** Mapas de umidade para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de umidade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

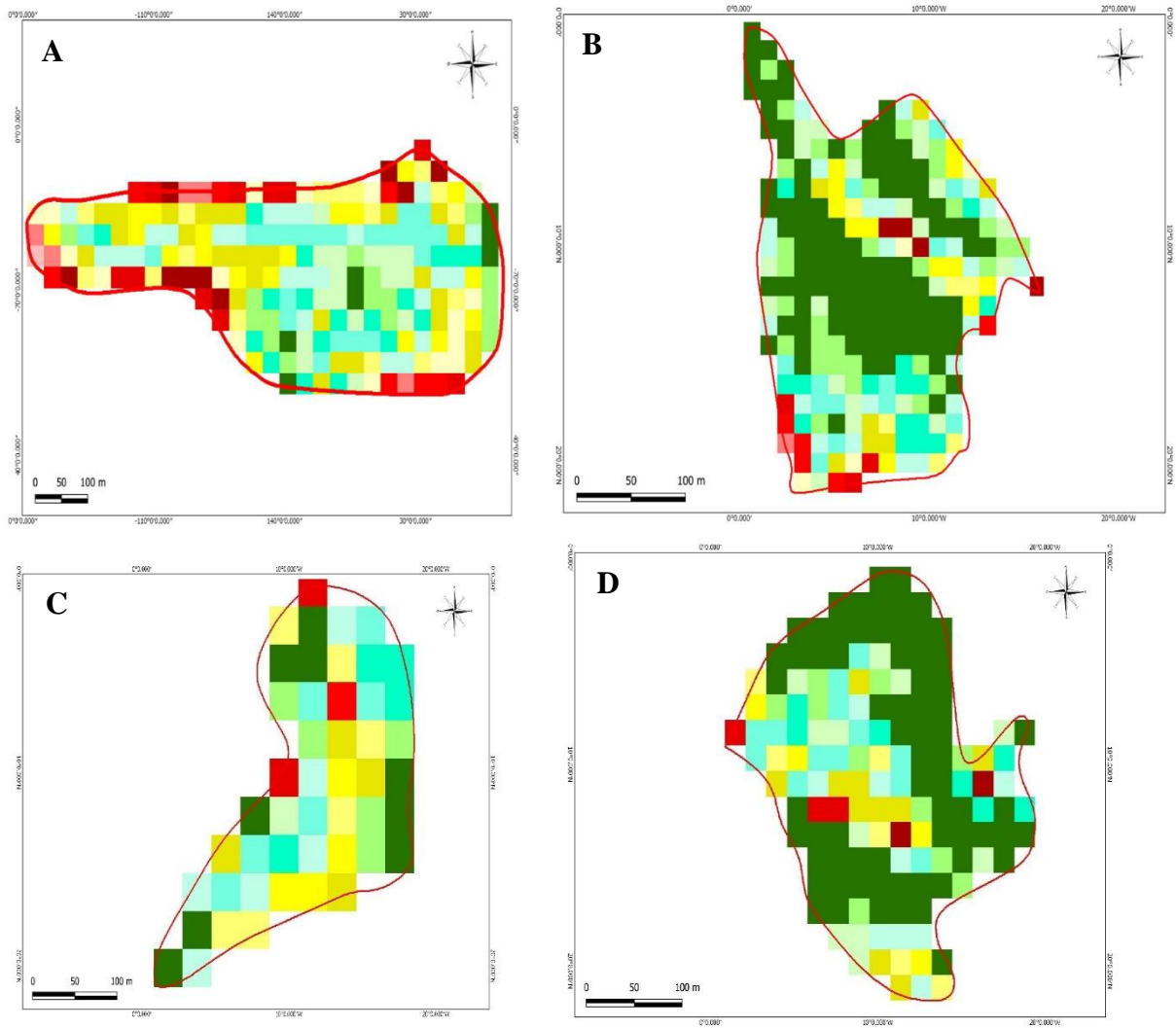
#### 4.2.6. Proporção de Vegetação (PV)

A figura 12 mostra a classificação dos índices de PV. Os valores mais altos de PV foram distintos entre os fragmentos e ocorreu tanto em bordas (Figura 12C e 12D) quanto no interior (12A e 12B).



#### 4.2.7. Emissividade (e)

A figura 13 mostra a classificação dos índices de emissividade. Os padrões foram semelhantes ao PV.



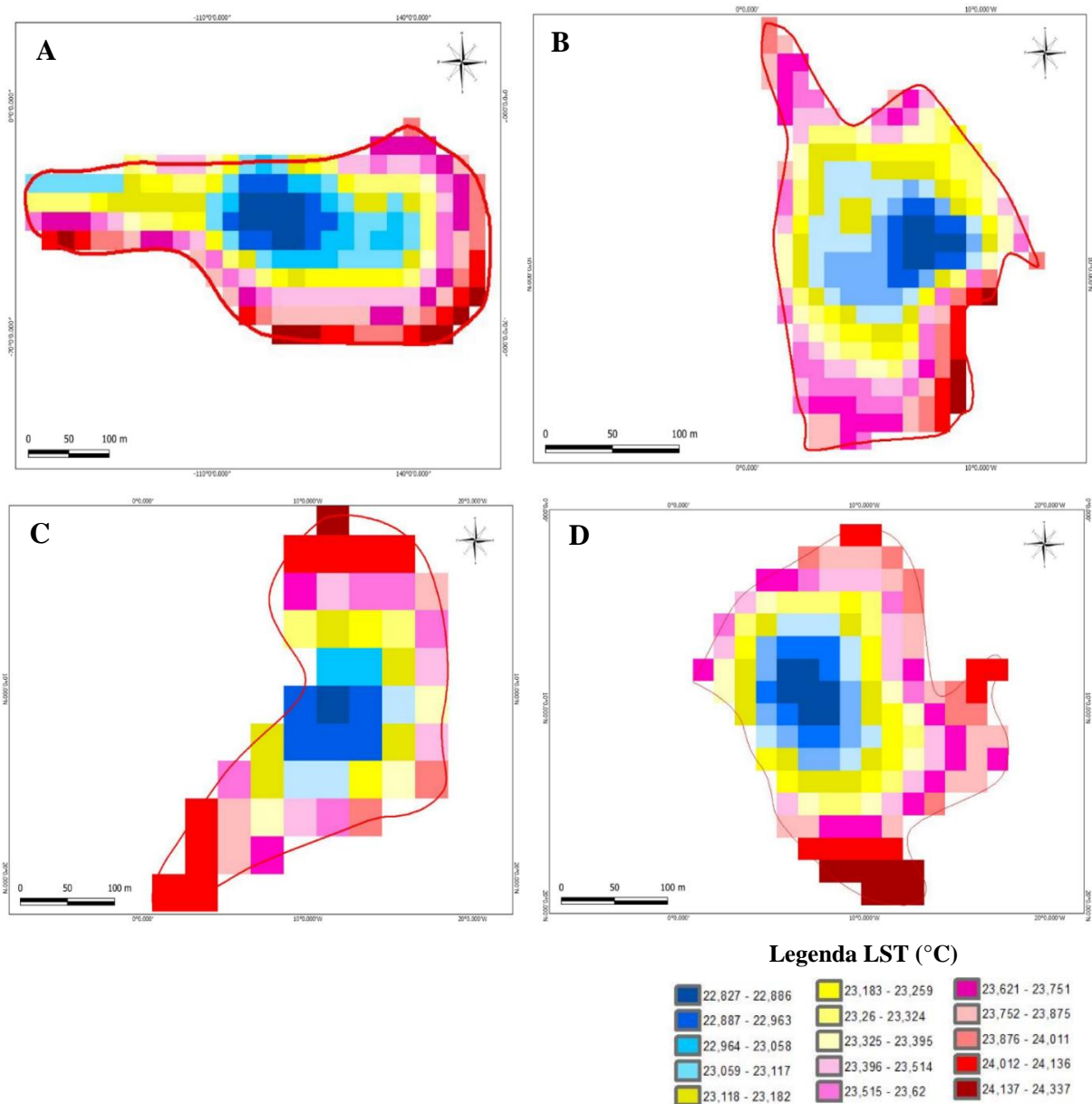
#### Legenda Emissividade (-1 a +1)

0,987184	0,987707 - 0,987726	0,987815 - 0,987832
0,987185 - 0,98758	0,987727 - 0,987756	0,987833 - 0,987847
0,987581 - 0,98765	0,987757 - 0,987776	0,987848 - 0,987861
0,987651 - 0,987685	0,987777 - 0,987794	0,987862 - 0,987885
0,987686 - 0,987706	0,987795 - 0,987814	0,987886 - 0,987932

**Figura 13.** Mapas de emissividade (e) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de emissividade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

#### 4.2.8. Temperatura da Superfície Terrestre - *Land Surface Temperature (LST)*

A figura 14 demonstra a classificação dos índices de LST. Ficou claro a existência de regiões com valores mais baixos de temperatura, a maior parte em regiões localizadas no interior das florestas. De modo geral os maiores valores de LST (acima de 23,9°C) ocorreram em setores de borda florestal.



**Figura 14.** Mapas Temperatura da Superfície Terrestre (LST) para fragmentos de florestas estacionais semidecíduas do sudeste de Goiás. Os valores de emissividade variam de 0 (0%) a 1 (100%). Na legenda inserimos apenas os valores ocorrentes nas florestas. Fragmentos: A = IP, B = CA, C = IF, D = CN.

#### 4.2.9. Análises estatísticas dos índices de vegetação

As análises de variância para os índices de vegetação demonstraram haver diferenças significativas entre os fragmentos analisados (Tabela 01). O fragmento localizado em área protegida (UB) sempre obteve os maiores valores para os índices de vegetação, no entanto, para diversos índices pelo menos um dos fragmentos em matriz rural obteve valores semelhantes ao fragmento protegido. Para GNDVI, NDVI e SAVI (Figura 15 A, B e D) o

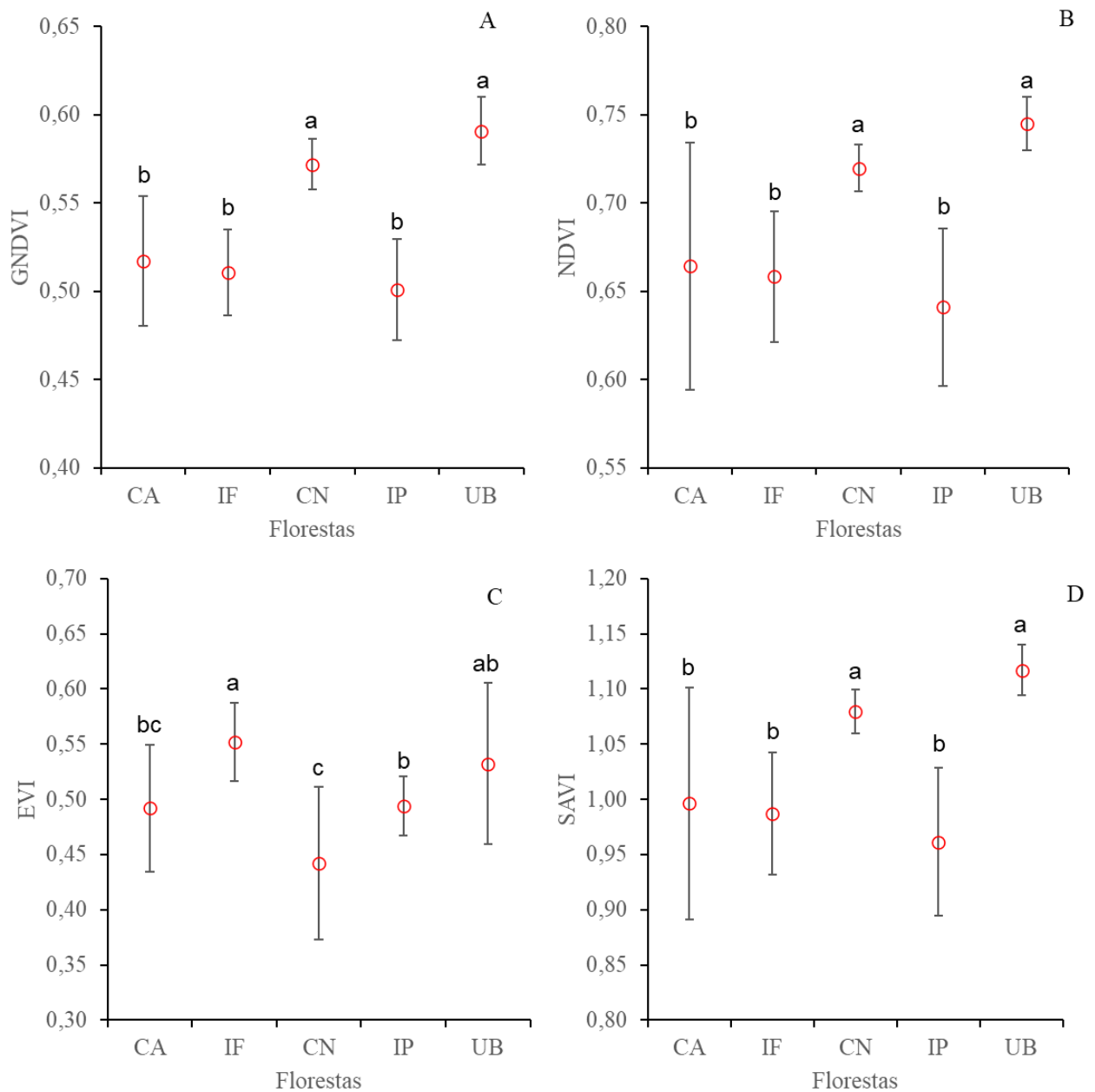
fragmento CN obteve valores semelhantes à UB e superiores aos demais. Para EVI novamente UB apresentou valores elevados e desta vez semelhante a IF, CA e IP.

**Tabela 02.** Valores de média e desvio padrão e resultados da análise de variância para índices de vegetação em 5 fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais. F = F de significação de Fisher, p = valor de probabilidade de erro, CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado - *Enhanced Vegetation Index*, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - *Soil-Adjusted Vegetation Index*, LST= Temperatura da

Variável	CA	IF	CN	IP	UB	F	p
GNDVI	0,52(±0,04)	0,51(±0,02)	0,57(±0,01)	0,50(±0,03)	0,59(±0,02)	21,80	<0, 001
NDVI	0,66(±0,07)	0,66(±0,04)	0,72(±0,01)	0,64(±0,04)	0,74(±0,02)	10,82	0, 007
EVI	0,49(±0,06)	0,55(±0,04)	0,44(±0,07)	0,49±0,03	0,53±0,07)	11,56	<0,001
SAVI	1,00(±0,11)	0,99(±0,06)	1,08(±0,02)	0,96(±0,07)	1,12(±0,02)	11,53	<0,001
LST	20,03(±0,04)	19,68(±0,35)	23,21(±0,024)	23,28(±0,18)	27,19(±0,41)	1353,00	<0,001
PV	0,43(±0,01)	0,45(±0,003)	0,46(±0,01)	0,43(±0,02)	0,47(±0,02)	6,99	<0,001
E	0,98782(±0,0001)	0,98780(±0,0001)	0,98785(±0,0001)	0,98773(±0,0001)	0,98786(±0,0001)	6,99	<0,001
Umidade	0,34(±0,03)	0,34(±0,04)	0,35(±0,01)	0,34(±0,03)	0,39(±0,02)	12,65	<0,001

Superfície Terrestre - *Land Surface Temperature*, PV= **Proporção de Vegetação**, e = **Emissividade**, Umidade = (%) **de umidade da vegetação**.

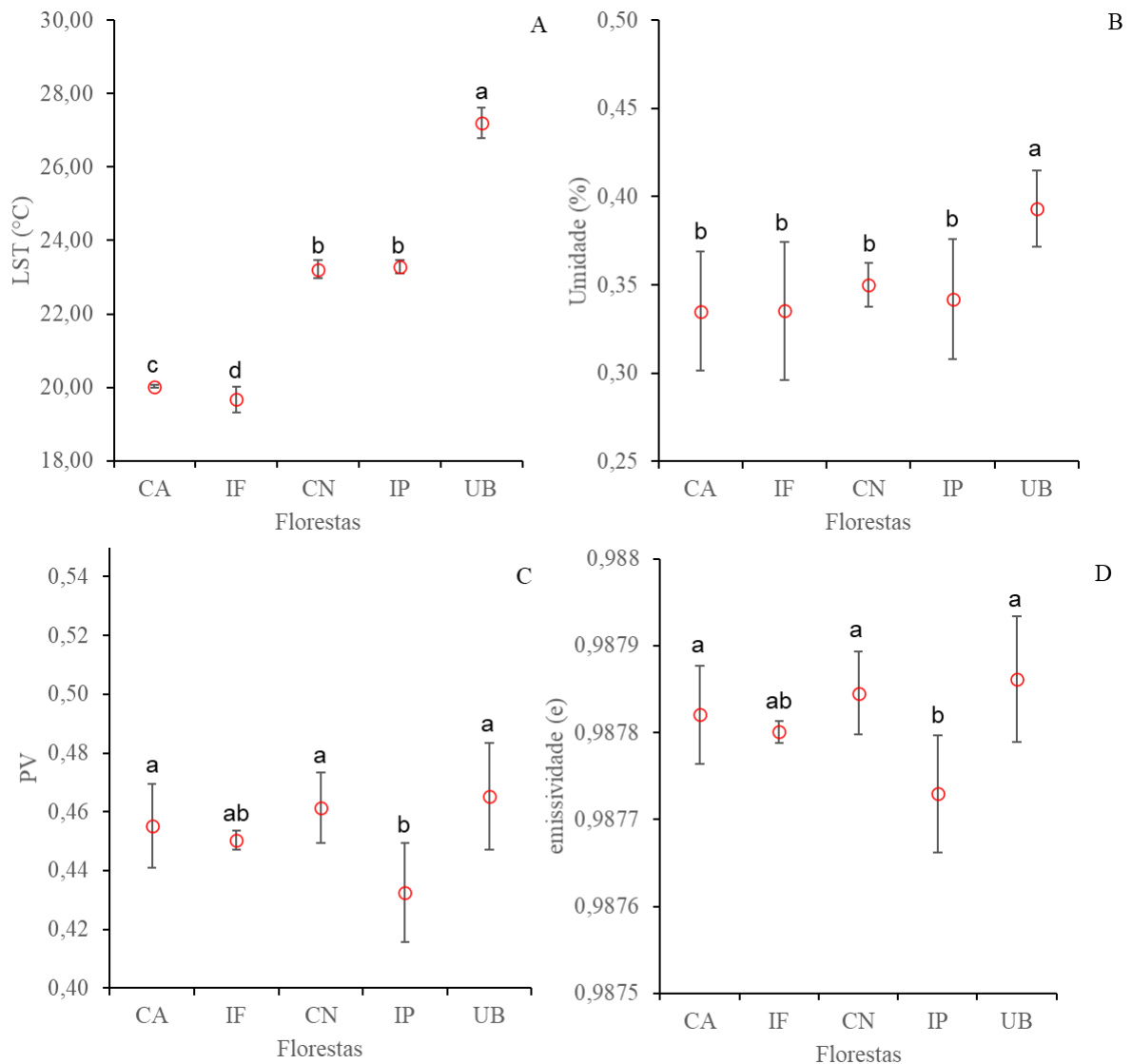




**Figura 15.** Análise de variância entre índices de vegetação para cinco fragmentos florestais. Círculo vermelho = média, setas verticais = desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, LST= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação.

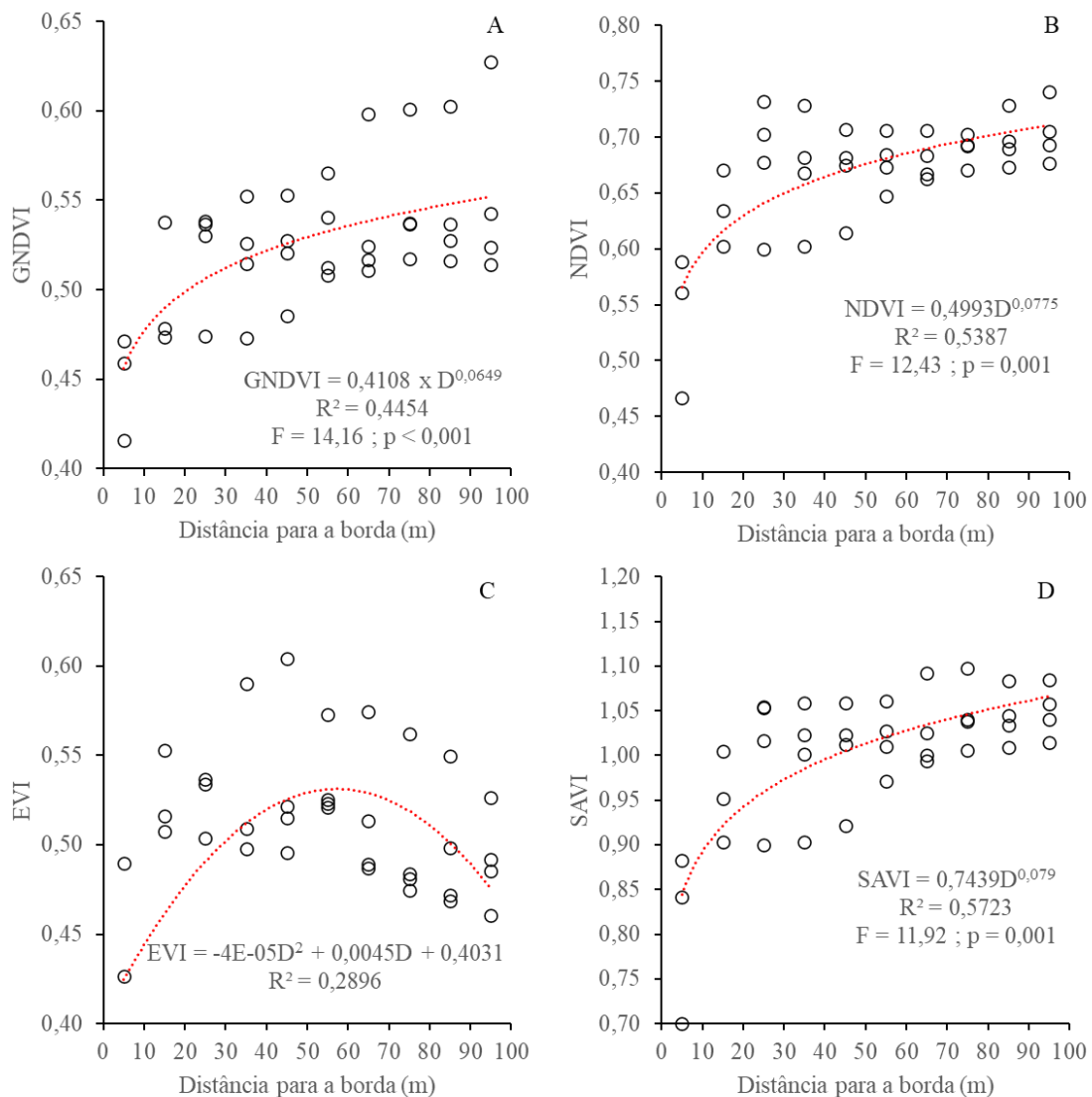
O fragmento protegido também apresentou os maiores valores de LST, Umidade (ambos estatisticamente diferentes em relação aos demais), PV e emissividade (sem

diferenças estatísticas em relação à maioria dos demais fragmentos). Os fragmentos em matriz rural se diferenciaram entre si para LST (CN e IP com médias superiores a CA e IF). Para PV e emissividade apenas o fragmento IP foi considerado diferente em relação ao fragmento protegido.

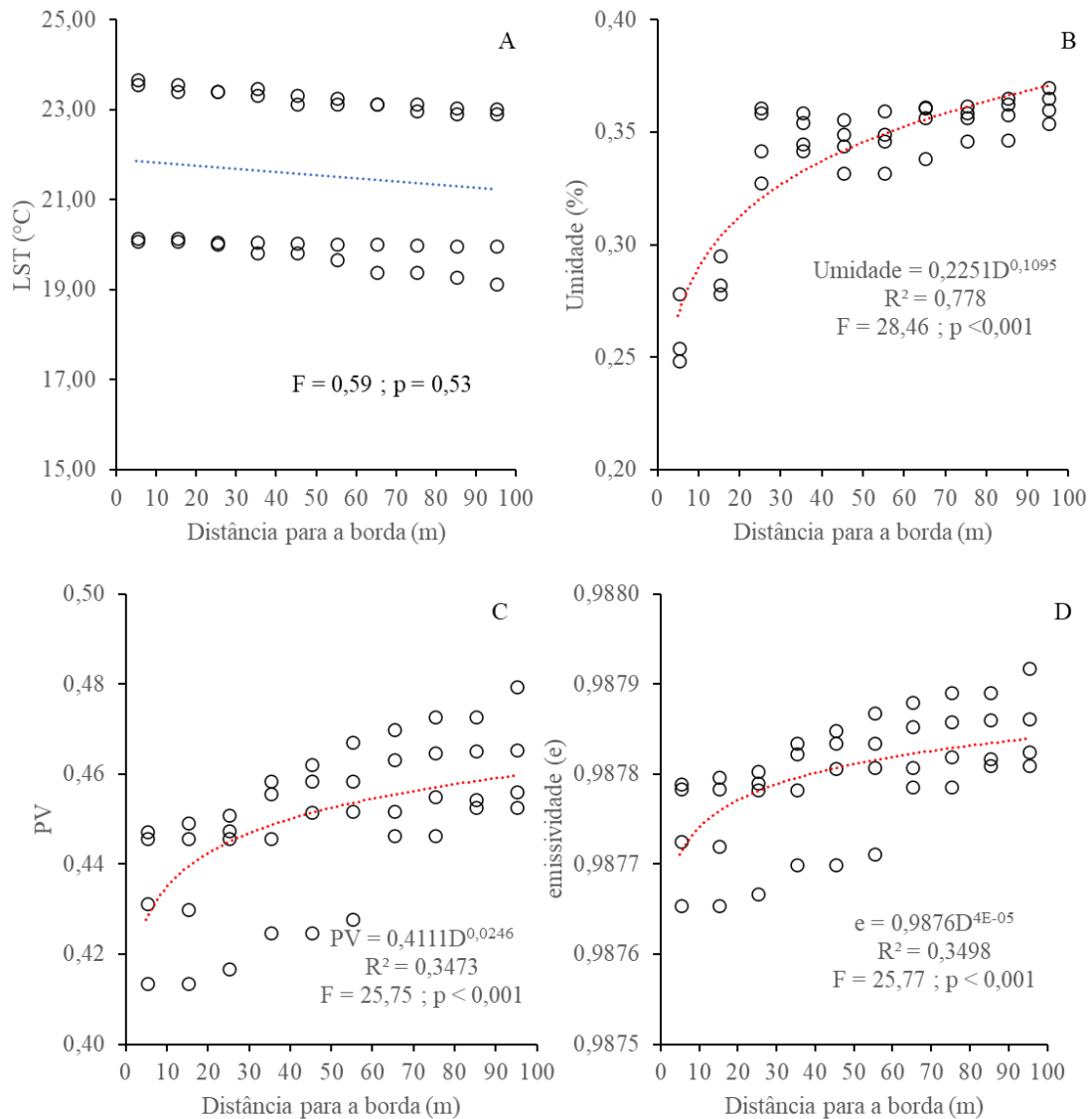


**Figura 16.** Análise de variância entre índices de vegetação para cinco fragmentos florestais. Círculo vermelho = média, setas verticais = desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, LST= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação.

As regressões (Figura 17 e Figura 18) que melhor explicaram a relação entre borda e interior florestal foi a potencial (GNDVI, NDVI, SAVI, Umidade, PV e emissividade) e polinomial (EVI). Houve relação significativa para todos os índices de vegetação, a exceção de LST (Figura 18A). A média dos valores parece aumentar conforme se adentra a floresta (sentido borda-interior) e possui forte relação para umidade (77%, figura 18B), moderada para GNDVI, NDVI e SAVI (entre 40-60%, Figura 17 A, B e D) e fraca para EVI (Figura 17C), PV e emissividade (Figura 18 C e D) (inferiores a 35%).



**Figura 17.** Regressões entre índices de vegetação e distância para borda para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, GNDVI = Índice de Vegetação de Diferença Normalizada Verde, NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, EVI= Índice de Vegetação Melhorado, SAVI= Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

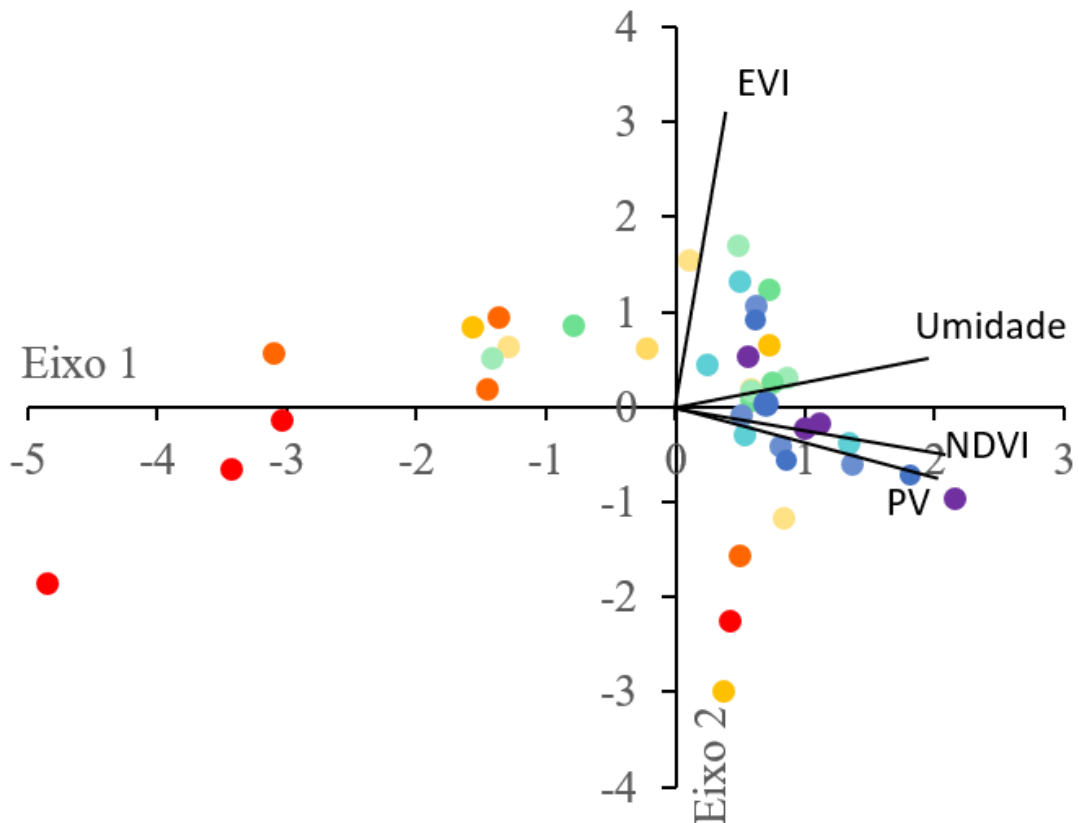


**Figura 18.** Regressões entre índices de vegetação e distância para borda para quatro fragmentos florestais do sudeste de Goiás. CA = Campo Alegre IF = Ipameri, CN = Rodovia entre Caldas Novas e Ipameri GO, IP = Campus da Universidade Estadual de Goiás - Ipameri, UB = Reserva Ecológica do Panga – Uberlândia MG, LSL= Temperatura da Superfície Terrestre, PV= Proporção de Vegetação, e = Emissividade, Umidade = (%) de umidade da vegetação.

A análise de componentes principais (PCA, Figura 19) possibilitou a separação das parcelas de acordo com a distância em relação à borda. A PCA possuiu 81,42% de variância explicada (56,00% para o eixo 1 e 25,42% para o eixo 2). Os vetores umidade, PV e NDVI apresentaram maior participação na composição do eixo 1 e EVI no eixo 2.

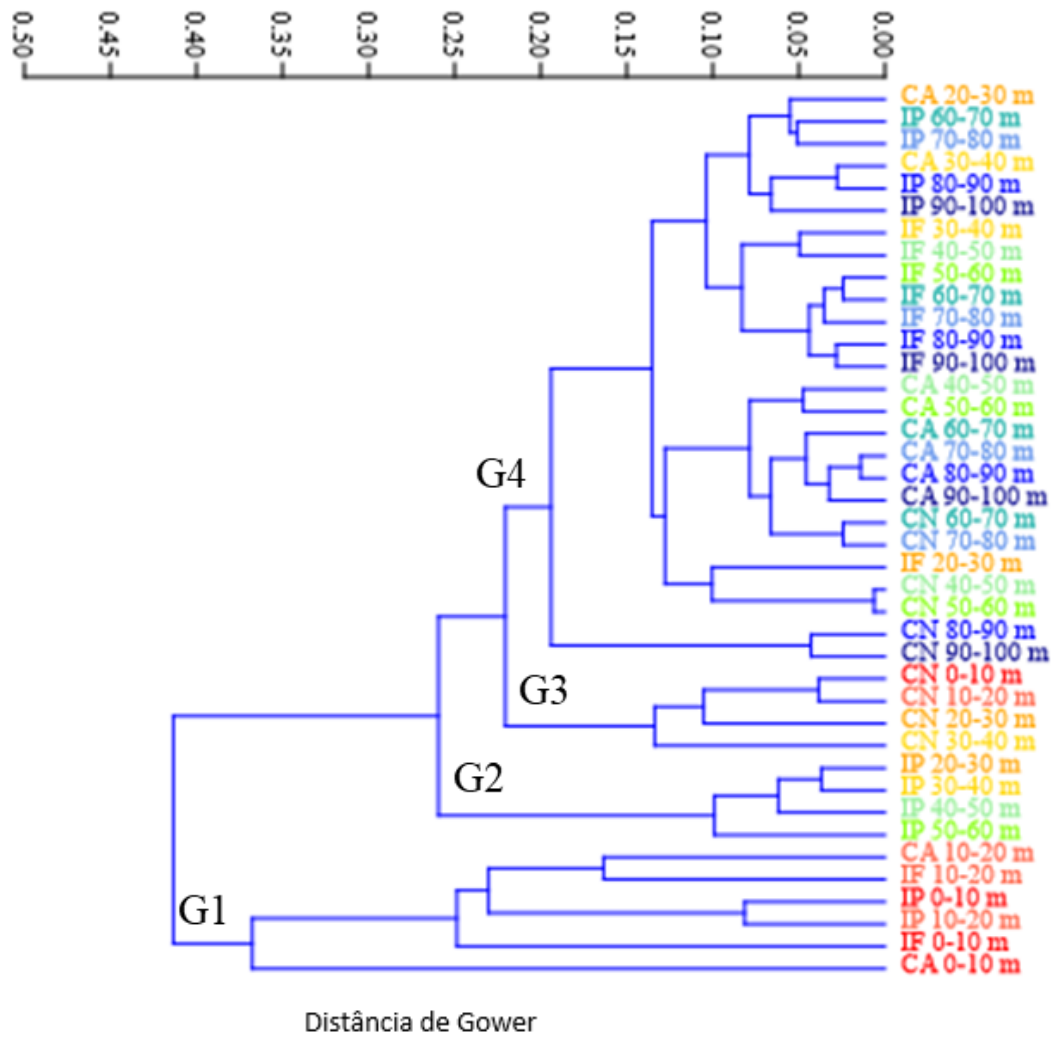
O eixo 1 demonstrou que as parcelas próximas a borda apresentaram maior heterogeneidade entre si, e o interior possui uma maior homogeneidade. A partir dos 40 - 50 m os índices de vegetação. Este resultado indica que as bordas das florestas tendem a possuir maior variação entre si do que os interiores florestais em relação a estes índices de vegetação. Mesmo que haja exceções, duas amostras localizadas a 40 - 50m e a 50-60 m se aproximaram

daquelas das bordas e duas (20-30m) se aproximaram das parcelas mais interiores, foi notório a distinção entre parcelas de borda (de 0-30 m) e mais interiores (de 30-100 m).



**Figura 19.** Análise de componentes principais para índices de vegetação em quatro fragmentos florestais.

O dendrograma de similaridade baseado na Distância de Gower (Figura 20) demonstrou que existe um gradiente da borda para o interior da floresta, para a maioria dos casos os primeiros 20 m são distintos em relação aos demais e formaram um grupo. Um segundo grupo foi formado apenas pelas amostras de IP (de 20 a 60 m) e um terceiro grupo formado apenas por parcelas de CN (de 0 a 40 m). O último grupo foi formado majoritariamente por parcelas entre 40-100 m.



**Figura 20.** Dendrograma de Similaridade para os fragmentos florestais do sudeste de Goiás utilizando-se parcelas a partir da borda para o interior da floresta utilizando-se o baseado na Distância de Gower e a média de grupo (UPGMA) como técnica de agrupamento. Fragmentos: A = fragmento IP, B = fragmento CA, C = fragmento IF e D = fragmento C.

## 5. DISCUSSÃO

As análises demonstraram ser possível a distinção entre borda e interior dos fragmentos florestais tanto em relação à florística quanto em relação aos índices de vegetação. Em ambas as análises foi possível detectar diferenças entre os setores de 0-30 m considerados como a borda dos fragmentos e 40-100 m. Diferentes fragmentos florestais podem possuir diferentes tamanhos de borda, no entanto é possível inferir que as bordas devam atingir, geralmente, os 30 primeiros metros em uma floresta semidecidual.

### 5.1. Efeito de Borda – Dados florísticos e florístico-estruturais

Os dendrogramas de similaridade baseados em Jaccard, demonstraram distinção de composição florística nas faixas até 30 metros para o interior, em IP e CA (Figuras 1A e 1B), e aos 40 metros para o interior em IF e CN (Figuras 1C e 1D). Em via de regra houve distinção entre borda e interior nas faixas entre 30 - 40 metros, semelhante ao estudo de (DE OLIVEIRA, 2011), que encontrou esta distinção entre borda e interior a 50 metros.

Os dendrogramas baseados em Morisita-Horn, encontraram a separação florística entre borda – interior, entre 30 – 40, para as florestas IP e IF (Figura 2A e 2C), em 30 para CA (Figura 2B) e em 20 para CN (Figura 2D), semelhante ao estudo de (MELO, 2010) que coloca as bordas como sendo uma faixa de 20 metros a 50 metros para o interior da floresta. Apesar de apresentar um padrão de 0 a 40 metros de borda as florestas podem ter bordas variadas, trechos de borda podem aparecer com composição florística – estrutural semelhante ao interior, devido a condições, como a matriz em que está inserida, presença de corpos hídricos, tempo de formação, presença de grandes árvores (FERREIRA, 2016).

O estudo observou também que mesmo na área protegida a floresta sofre o efeito de borda, existindo a distinção entre borda e interior da floresta até 40 m pela análise de presença ausência (Figura 6A) e até 30 pela análise estrutural (Figura 6B), este efeito de borda também é relatado em (MACHADO, 2013).

### 5.2. Índices de Vegetação (Matriz Protegida - UB X Matriz Agrícola – IP, CA, IF, CN)

A análise de variância dos índices de vegetação, demonstradas na tabela 01 comprovam uma diferença significativa entre áreas inseridas em matriz agrícola (IP, CA, IF, CN), com a área de controle (Reserva Ecológica do Panga). O teste de Tukey mostra onde ocorre a diferenciação. Em todos os índices de vegetação, os valores encontrados na área de

preservação (UB) são maiores que os das florestas que estão inseridas em uma matriz agrícola, comprovando que estes fragmentos sofrem um maior estresse físico e biológico (LIBONI, 2018). O fragmento florestal CN é o que mais se assemelha a região protegida, com maiores índices de vegetação, indicando que se encontra em melhor estado de conservação (MONTEIRO, 2017).

Entre os índices de vegetação, todos tiveram relação significativa ao longo das distâncias da borda para o interior da floresta, exceto o de Temperatura da Superfície Terrestre que foi descartado das análises, os índices Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Vegetação de Diferença Normalizada Verde (GNDVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), (Figuras 07, 08,10) tiveram forte correlação, sendo que, devido à informação gráfica o que mais destacou-se na determinação de borda e interior de floresta foi o NDVI, a emissividade (e) e a proporção de vegetação (PV) também tem forte correlação e por se tratar de um estudo com vegetação optamos por utilizar a PV que demonstrou mais claramente no mapa o efeito de borda, o índice de umidade de vegetação possui uma grande correlação com a borda e clara influência da presença de recursos hídricos, pois a vegetação próxima de cursos de fontes de água, tende a apresentar maiores índices de umidade (acima de 36%), influenciando outros índices como NDVI, GNDVI, Índice de Vegetação Melhorado (EVI), (TRAN et al., 2017; GIDEY et al., 2018; RAHMAN et al., 2017), o índice EVI, também permite a determinação de borda e interior de floresta, em sua análise ele elimina prováveis efeitos de nuvens ou outras interferências (ALMEIDA, 2008). Sendo então definidos como os principais índices para a análise de efeito de borda em florestas os índices (NDVI, EVI, PV e Umidade).

Quando observamos as figuras (7,9,11 e 12) observamos que é clara a distinção entre borda e interior de floresta, estas bordas podem variar de um fragmento florestal para outro fragmento florestal, e dentro de trechos do próprio fragmento, de acordo com fatores físicos e biológicos, pois os fragmentos de floresta não são estruturas contínuas e podem estar em contato com diferentes tipos de pressão na borda (OZÓRIO, 2019).

A análise de componentes principais (PCA, Figura 19) e o dendrograma final mostram que, valor de índices de vegetação tem a tendência de aumentar da borda para o interior, o gradiente da borda para o interior, encontrado pelos índices de vegetação vão de 30 ou 40 metros para dentro da floresta, o que é muito semelhante às análises florísticas e florístico – estruturais, o trabalho de (CORREIA LAGOS, 2017) estabeleceu como padrão médio o gradiente de 50 metros de borda, para o interior da floresta. Já no trabalho de (PACIENCIA, 2004) se considera a borda num gradiente de 20 metros a 40 metros resultados semelhantes aos encontrados, em nosso trabalho. Entre a literatura que tenta definir tamanhos médios de



bordas florestais para Florestas Estacionais Semidecíduais (FES), inseridas no domínio do Cerrado, pouca coisa se encontra relacionada ao uso de índices vegetais e sensoriamento remoto.

Em relação à legislação relacionada à proteção de fragmentos florestais em áreas de matriz agrícola, (LEI FEDERAL n° 12.561/12, 2012), que prevê para áreas de Cerrado um mínimo de 20 % de Reserva Legal. A variabilidade em tamanhos de fragmentos de Cerrado, em todas as fitofisionomias e em destaque para as florestais é muito grande, prevalecendo áreas pequenas com tamanho inferior a 1 ha, em estudos em área de Cerrado em Goiás, chegando a 82,12% (CUNHA, 2007). Esta fragmentação causa consequências, afetando negativamente, a composição da comunidade e a diversidade de fauna e flora, e afetando também, processos como polinização, fixação de carbono, ciclo de nutrientes (LAURENCE, 2009), em fragmentos minúsculos estas bordas podem compor a maioria do fragmento florestal, dificultando o estabelecimento e a manutenção desta floresta.

### **5.3. Detalhamento sobre os Índices de Vegetação e Efeito de Borda**

#### **5.3.1. NDVI e SAVI**

NDVI apresentou bordas que entravam em faixas florestais de até 20 metros e em alguns casos até 40 metros. Os valores de NDVI nas bordas variavam em geral com índices de NDVI entre 0,30 e 0,53 que representam a reflectância de vegetação mais rala ou até mesmo ausência de vegetação na borda, o que também foi detectado nos trabalhos apresentados por (OTTO et al., 2011; CÂNDIDO et al., 2015). Índices negativos e abaixo de 0,30 indicavam, vegetação arbustiva, ausência de vegetação e pastagens, valores também descritos em (QUESADA, 2017). Em algumas das florestas analisados foram verificadas queda de grandes árvores na borda, o que explica em parte, a existência de índices de NDVI com valores inferiores a 0,50.

Algumas regiões de borda apresentaram maiores índices de NDVI (0,67 a 0,76), como em CN, IF e CA, e provavelmente estão diretamente relacionados a altos valores de umidade observado na vegetação (34 % a 40 %). Em IP, uma parte da borda de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>, está associado a valores mais altos de umidade, as outras partes em que se encontram maiores valores de NDVI e podem estar associados a grandes árvores com o dossel mais denso (TERAMOTO, 2018).

Os valores mais altos de NDVI no interior das Florestas Estacionais Semidecíduais (FES), estudadas (0,63 a 0,76), estão associados a altos índices de umidade (34 % a 40 %) e

também acompanham uma alta proporção de vegetação (46% a 48%), sinal da ocorrência de árvores de maior porte (SILVA, 2018). Em CA é perceptível uma faixa com valores inferiores de NDVI no interior da floresta, que se dá devido ao curso hídrico de Mata de Galeria, que em alguns trechos não fecha o dossel, e /ou esse dossel se encontra com baixa proporção de vegetação (BRAZ, 2015).

As imagens de NDVI, SAVI e GNDVI, estão seguindo um padrão de representatividade, demonstrando as mesmas características de borda e matriz florestal, isto se deve ao fato do SAVI, ser um índice de NDVI com a constante (L), para ajuste a reflectância do solo em nossas análises por serem florestas e possuírem, uma alta ou intermediária cobertura vegetal. E o GNDVI detecta plantas sobre maior estresse, podendo ser melhor observado em bordas e clareiras dentro da mata. (GROFF, 2013), optou-se pelo uso do NDVI, que graficamente melhor explicou, a borda – interior da floresta (LEITE, 2017).

### **5.3.2. EVI**

Nos fragmentos ocorreram índices de borda inferiores a 0,31 em IP, IF e CN, indicando áreas com baixa cobertura vegetal com efeito de borda acentuado. Em CA, apesar de se observar valores baixos na borda em geral, é menos perceptível a ocorrência de valores muito baixos. Em CA, pode se observar que no interior da floresta em sua matriz, aparecem vários locais com índices muito baixos de EVI, o que pode indicar áreas onde ocorreu supressão vegetal, ou abertura de clareiras por queda de grandes árvores.

Ainda em CA e IF, pode se encontrar, regiões com valores de EVI maiores que na matriz florestal, indicando que embora exista uma tendência de as bordas apresentarem vegetação mais sujeita a estresses, isso não é uma regra, ficando difícil estabelecer padrões sem a observação das particularidades de cada fragmento florestal, resultado parecidos com o descrito em florestas e cerrados (GONÇALVES, 2020).

### **5.3.3. Umidade**

O índice de umidade de vegetação da pesquisa apresentada teve clara influência da presença de recursos hídricos, pois a vegetação próxima tende a apresentar maiores índices (acima de 36%), influenciando outros índices como NDVI, GNDVI, EVI, (TRAN et al., 2017; GIDEY et al., 2018; RAHMAN et al., 2017).

Geralmente aparece com índice maior no interior, na matriz florestal e nas bordas aparece comumente com índices menores que 23%, podendo ter variações e aparecer também com altos índices em alguns trechos de borda, como em CA e CN, em ambas ocorre devido a

cursos de água próximos a borda, em IP e IF, a umidade possui maior índice na matriz florestal, devido ao fato dos cursos hídricos estarem presentes no interior da floresta.

#### **5.4. PV e emissividade**

A proporção de Vegetação (PV) demonstra a densidade de vegetação em determinado ponto, nos fragmentos analisados fragmentos florestais apareceu com maiores proporções tanto em bordas quanto em interiores das florestas, ainda assim em maiores proporções no interior das florestas. Pelo fato de o PV influenciado por de áreas com cursos hídricos e solos mais férteis e clareiras (DE TOFFOLI et al., 2020),

A heterogeneidade de solos e clareiras das florestas podem afetar o índice, mas o índice, pode trazer importantes informações sobre as áreas com maior proporção de vegetação e visivelmente nos mapas mostra a sua correlação com outros índices

Nas áreas PV teve influência da disponibilidade hídrica, apresentando índices de densidade acima de 48 %, em IP, IF, CN e particularmente em AC, onde as margens do córrego são as áreas com maior proporção de vegetação.

O índice de emissividade possui padrão de representatividade semelhante ao índice PV, representa os processos de emissão de radiação de onda longa, em função de sua temperatura, é inferida a partir do NDVI (FERREIRA et al., 2021). Portanto optou-se por utilizar o PV, devido aos melhores resultados gráficos obtidos.

## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1. Respondendo às perguntas propostas**

1) Existe diferenças florísticas e/ou dos índices de vegetação nos fragmentos a partir da borda a até 100m para o interior das florestas? Sim

2) Se for perceptível a existência da borda, até quantos metros a borda atinge nestas florestas?

Tanto as análises oriundas diretamente da vegetação (dados de campo) quanto os índices de vegetação permitiram verificar que a borda tende a se situar de 30-40 m em direção ao interior da floresta.

## 6.2. Quanto aos objetivos

As análises dos índices de vegetação NDVI, GNDVI, EVI, SAVI, conseguiram demonstrar a presença de borda e matriz florestal, em concordância com as análises da vegetação, em que se encontra bordas com 20 m a 40 m da borda para o interior (Matriz florestal) das Florestas Estacionais Semidecíduais, mostrando que estes índices podem contribuir de forma eficaz para análise de efeito de borda.

Área protegida também apresentou a distinção entre interior e borda, em um gradiente de até 40 metros, mas mesmo nas bordas os seus índices de vegetação possuem maiores médias.

O índice de Umidade de vegetação, detectou a presença de borda e matriz florestal, mas sofre grande influência dos cursos de água encontrados na floresta, sendo este fator mais importante para índices maiores, deve ser usado para demonstrar a qualidade da vegetação de cada fragmento e como um complemento para os índices que determinam borda e matriz.

Os índices NDVI e SAVI, possuem padrões semelhantes, sendo que a observação de borda e matriz florestal é melhor observada no Índice NDVI, para florestas, ficando recomendado o Índice SAVI para locais onde deve-se fazer o ajuste do solo, savanas e campos.

Os Índices de Proporção de Vegetação (PV) e Emissividade (e), possuem padrões semelhantes, e geralmente os índices mais altos estão associados à presença de recursos hídricos. Como a PV é influenciadora direta da emissividade, deve ser usada como índice complementar para o estudo da qualidade de vegetação de florestas, a emissividade deve ser usada para savanas e campos. O índice LST, não obteve resposta significativa quanto ao efeito de borda.

O trabalho conclui que com os resultados obtidos através do sensoriamento remoto e as análises fitossociológicas, convergem, e os índices de vegetação devem ser mais explorados para estudos de qualidade ambiental e efeito de borda, para fragmentos florestais, conclui ainda que os índices que melhor refletem o efeito de borda em florestas são NDVI, EVI, e os índices PV e Umidade, são complementares para análise de qualidade de vegetação, chegando assim aos objetivos propostos pelo estudo.

O estudo propõe ainda a adoção do uso de índices de vegetação durante a implantação do Programa de Regularização Ambiental – PRA, benefício criado a partir do novo Código Florestal (LEI.12.651/2012), disposto em seu artigo 59 e posteriormente regulamentado nos Decretos 7.830/2012 e 8.235/2014, para que se tenha a real dimensão da Reserva Legal funcional nas propriedades rurais, e para que se possa propor ações de proteção,

enriquecimento e adensamento de espécies em fragmentos florestais, que estejam com alta proporção de borda, viabilizando assim a manutenção de seus serviços ecossistêmicos.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. Q., et al. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da reserva biológica de Sooretama, ES. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008.

ALVARES, C.A., et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado sensu stricto na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Revista Acta Botanica Brasilica**. v.18, n.4, p. 903-909, 2004.

ASSUNÇÃO, S.L.; FELFILI, J.M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado sensu stricto na APA de Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n.4, p.903-910, 2004.

AZEVEDO, A.; SAITO, C. H. O perfil dos desmatamentos em Mato Grosso, após implementação do licenciamento ambiental em propriedades rurais. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 111-122, 2013.

AZEVEDO, L. DE S.; BARBOSA, L. C. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na área de proteção ambiental triunfo do Xingu (PA) utilizando o Google Earth Engine. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 244-256, 2020.

BARANEK, E. J. **Análise do efeito de borda de sistemas de cultivo orgânico e convencional em fragmentos florestais do centro-oeste paranaense**. Seropédica: UFRRJ, 2014. 61p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Programa de PósGraduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

BARBOSA, A. H. S.; DE CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, v. 33, p. 128, 2017.

BARBOZA, E. N.; NETO, F. C. B.; CAIANA, C. R. A. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e57973731-e57973731, 2020.

BRASIL. **Lei n.º 12.561/012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 28 janeiro. 2021.

BRAZ, A. M.; DE ANDRADE ÁGUAS, T.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria-MS. **Revista Percurso**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.

CÁRDENAS, D. A. G., et al. Dinâmica dos índices NDVI e GNDVI em uma cultura de arroz em fase de reprodução a partir de imagens aéreas multiespectrais obtidas por drones. In: **Conferência Internacional de TIC para Adaptação da Agricultura às Mudanças Climáticas**. Springer, Cham, 2018. p. 106-119.

CARVALHO, Alexandre Assis. **Influência da correção atmosférica (FLAASH) na redução dos dados de radiância para reflectância para o cálculo do EVI em imagem RapidEye**. 2015. 32 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CASTRO, A. L. S.; ARAUJO, G. R.; ESTRELA, D. C.; SILVA, P. M. Mamíferos de médio e grande porte em um fragmento florestal de Cerrado no município de Ipameri-GO. **Multi-Science Journal**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 55-61, 2018.

CORREA LAGOS, M. C. **Efeito de Borda em Fragmentos do Bioma Cerrado e Mata Atlântica** [manuscrito] / MARIA DO CARMO CORREA LAGOS. IV, 86p. 2017.

COSTA, A. A.; ARAUJO, G. M. Comparação da vegetação arbórea de cerradão e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. **Acta bot. bras.**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 63-72, 2001.

CUNHA, H. F.; FERREIRA, A. A.; BRANDÃO, D. **Composição e fragmentação do Cerrado em Goiás usando Sistema de Informação Geográfica (SIG)**. Boletim Goiano de Geografia, v. 27 n.2, p.139-152, 2007.

DA SILVA JUNIOR, C. A., et al. Remote sensing for updating the boundaries between the brazilian Cerrado-Amazonia biomes. **Environmental Science & Policy**, v. 101, p. 383-392, 2019.

D'ABADIA, K. L., et al. Atributos hidro-microbiológicos do solo em borda de fragmento de floresta estacional semidecídua. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 18-24, 2020.

DE TOFFOLLI, T. N.; JUNIOR, R. S. R.; FERREIRA, J. H. D. Padrão Espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no Município de Campo Mourão/PR. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 182-188, 2020.

DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 105-122, 2016.

DOS SANTOS, F. A. Diagnóstico ambiental a partir da declividade, erosividade, erodibilidade e o Índice SAVI no semiárido piauiense: estudo de caso no município de Juazeiro do Piauí. **Geografia (Londrina)**, v. 28, n. 2, p. 27-39, 2019.

ESRI. **ArcGIS Desktop: Versão 10**. Redlands, CA: Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais, 2020.

FERREIRA, F. L. S.; PEREIRA, E. B.; LABAKI, L. C. Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e características espectrais. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 237-262, 2021.

FERREIRA, T. S., et al. Composição florístico-estrutural ao longo de um gradiente de borda em fragmento de floresta ombrófila mista alto-montana em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 123-134, 2016.

FIGUEIRÓ, A. **BIOGEOGRAFIA: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 52 p.

FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. Análise temporal da vegetação na região do nordeste através de dados evi do modis. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2011.

FRANCISCO, P. R. M., et al. Umidade antecedente e índice de vegetação da diferença normalizada no mapeamento da caatinga. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 13, n. 2, p. 82-91, 2019.

GIDEY, E.; DIKINYA, O.; SEBEGO, R.; SEGOSEBE, E.; ZENEBE, A. Analysis of the long-term agricultural drought onset, cessation, duration, frequency, severity and spatial extent using Vegetation Health Index (VHI) in Raya and its environs, Northern Ethiopia. **Environmental Systems Research**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 7-13, 5 jun. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40068-018-0115-z>.

GONÇALVES, B. L., et al. Análise de índices de vegetação para classificação de áreas potenciais de ocorrência de *Attalea speciosa* Mart. Ex Spreng. **Revista Georaguaiá**, v. 10, n. 2, p. 86-101, 2020.

GROFF, E. C., et al. Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 517-525, 2013.

HIGUCHI, P., et al. Elementos da paisagem como fonte de heterogeneidade florístico-estrutural do componente arbóreo em área de Floresta Ombrófila Mista. **Ciênc. Florest.** [online]. v.28, n.2, p.661-673, 2018.

IBONI, A. P. **Florestas secundárias em paisagens agrícolas com matriz de cana-de-açúcar: diversidade florística e implicações para estratégias de conservação da biodiversidade**. 2018. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2018.

DELEGIDO, J., et al. Avaliação das bandas de borda vermelha do Sentinel-2 para estimativa empírica de LAI verde e conteúdo de clorofila. **Sensors**, [S.L.], v. 11, p. 7063 – 7081, 2011.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, [S.L.], Oecologia Australis. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.03>. v. 13, n. 03, p. 434-451, 2009.

LEITE, A. P.; SANTOS, G. R.; SANTOS, J. É. O. Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 6, n. 4, p. 606-623, 2017.

LIMA, W. P.; LAPROVITERA, R.; FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; SILVA, M. M.. Forest Plantations and Water Consumption: a strategy for hydrosolidarity. **International Journal Of Forestry Research**, [S.L.], v. 2012, p. 1-8, 2012.

MACHADO, J. S., et al. Diminuição do efeito de borda pela unificação de reservas ambientais em Uruçuí - PI. **Scientia Plena**, Bom Jesus, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2013.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Impacto do fogo e dinâmica da regeneração da comunidade vegetal em borda de Floresta Estacional Semidecidual (Gália, SP, Brasil). **Rev. bras. Bot.**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 37-50, 2010.

MONTEIRO, P. J. M., et al. avaliação da cobertura vegetal do Horto Florestal DR. Luiz Teixeira Mendes, em Maringá-Paraná, por meio do índice de vegetação razão simples. **Geoinf: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, v. 9, n. 2, p. 115-135, 2017.

MORAES, H. C. D. **Unidades de Conservação: Análise das estratégias de conservação para o bioma Cerrado**. 2011. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Biologia, Universidade de Brasília, 2011.

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 5ª ed. Brasília: Embrapa Solos. 2018. 355 p.

OLIVEIRA, L. S. B. **Estudo do componente arbóreo e efeito de borda em fragmentos de Floresta Atlântica na bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

OZÓRIO, J. M. B., et al. Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 53, p. 97-116, 2019.

PACIENCIA, M. L.B.; PRADO, J. Efeitos de borda sobre a comunidade de pteridófitas na Mata Atlântica da região de Una, sul da Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, n. 4, p. 641-653, 2004.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Mapa-múndi atualizado da classificação climática Köppen-Geiger. **Hidrologia e ciências do sistema terrestre**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PODANI, J. Extending Gower's general coefficient of similarity to ordinal characters. **Taxon**, v. 48, n. 2, p. 331-340, 1999.

PRADO, B. Q. M., et al. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016.

PSCHEIDT, F., et al. Efeito de borda como fonte da heterogeneidade do componente arbóreo em uma floresta com araucárias no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 601-612, 2018.



QUESADA, H. B., et al. Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR. **Geo UERJ**, n. 31, p. 439-455, 2017.

RAHMAN, M. A., et al. Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann–Kendall, Spearman’s rho tests and ARIMA model. **Meteorology And Atmospheric Physics**, [S.L.], Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-016-0479-4>. v. 129, n. 4, p. 409-424, 2016.

RAN, H. T., et al. Monitoring drought vulnerability using multispectral indices observed from sequential remote sensing (Case Study: Tuy Phong, Binh Thuan, Vietnam). **Giscience & Remote Sensing**, [S. L.], v. 2, n. 54, p. 167-164, 2017.

RIBEIRO, E. S., et al. Avaliação de fragmentos de cerrado por meio índices espectrais na bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO). **Tecnia**, v. 5, n. 1, p. 198-212, 2020.

ROCHA, R. C. C.; CORDEIRO, A. M. R.; GONÇALVES, G. R. Uso dos sensores remotos do satélite landsat 8 para identificação de "ilhas de calor" e "lago de ar frio" no município de oliveira do hospital para o ano de 2013. **Conference: VIII Colóquio de Geografia de Coimbra**, Coimbra, p. 1-25, 2014.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINI, F. S. N. Comparação do desempenho de sistemas de informação geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.

ROUSE, J. W., et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 SYMPOSIUM. **Annals**. Washington, p. 309-317, 1973.

SANTOS, J. F. C., et al. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n. 3, 2017.

SANTOS, Liegy Resende dos. **Gradientes ambientais e efeito de borda não afetam aspectos da história de vida e características funcionais de uma planta neotropical**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SANTOS, R. B. **Análise da temperatura de superfície terrestre em áreas de pastagens com diferentes sistemas de produção e tipos de manejo**. 2018. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Gestão de Sistemas na Agricultura e Desenvolvimento Rural, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

SCHWAIDA, S. F.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T. ROIG, H. L. Desafios e estratégias na implementação de corredores ecológicos entre áreas protegidas no bioma Cerrado. **Rev. Árvore [online]**. v. 41, n. 6, p. e410611, 2018.

SILVA JÚNIOR, M. C., et al. Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* Stapf. utilizando um sistema de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 411-419, 2008.

SILVA, L., et al. Análise do albedo e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) em uma bacia hidrográfica, usando o SEBAL-Surface Energy Balance Algorithm for Land. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2009.

SILVA, R. A. **Modelagem da umidade do solo utilizando imagem de satélite para análise da variação do solo/vegetação em Floresta-PE**. 2018. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2018.

SOARES-FILHO, B. S. **Impacto da revisão do Código Florestal: como viabilizar o grande desafio adiante? Brasília: Subsecretaria de Desenvolvimento Sustentável**. Secretaria de Assuntos Estratégicos, Governo Federal, Brasil, 2013. 28p.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.

ŠULC, Z., et al. Evaluation of the Gower coefficient modifications in hierarchical clustering. **Metodoloski Zvezki**, v. 14, n. 1, p. 37-48, 2017.

TAMBOSI, L. R., et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estud. av.**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015.

TERAMOTO, E. H., et al. Séries temporais do índice NDVI na avaliação do comportamento sazonal do Aquífero Rio Claro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 1135-1157, 2018.

TUCKER, C.J., Radiometric resolution for monitoring vegetation: How many bits are needed? **Int. J. Remote Sens.** v. 1, 241–254. 1980.

VALE, V. S. Functional groups in a semideciduous seasonal forest in Southeastern Brazil. **Biotemas**, v. 26, n. 2, p. 45-58, 2013.

WANG, F.; QIN, Z.; SONG, C.; TU, L.; KARNIELI, A.; ZHAO, S. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from landsat 8 thermal infrared sensor data. **Remote Sensing**. n. 7, p. 4268–4289, 2015.

WILLIAMS-LINERA, G. Vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama. **Journal of Ecology**, v.78, p.356-373, 1990.

YAWATA, K. et al. Mixed model estimation of rice yield based on NDVI and GNDVI using a satellite image. In: **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI**. International Society for Optics and Photonics, p. 1114918. 2019.



## Anexo 2 – Tabela da ANOVA

Tabela ANOVA							
Variável	CA	IF	CN	IP	UB	F	p
GNDVI	0,52(±0,04)	0,51(±0,02)	0,57(±0,01)	0,50(±0,03)	0,59(±0,02)	21,80	3,32E-09
NDVI	0,66(±0,07)	0,66(±0,04)	0,72(±0,01)	0,64(±0,04)	0,74(±0,02)	<b>10,82</b>	<b>7,30E-03</b>
EVI	0,49(±0,06)	0,55(±0,04)	0,44(±0,07)	0,49±0,03	0,53±0,07)	11,56	3,88E-06
SAVI	1(±0,11)	0,99(±0,06)	1,08(±0,02)	0,96(±0,07)	1,12(±0,02)	11,53	3,98E-06
LST	20,03(±0,04)	19,68(±0,35)	23,21(±0,024)	23,28(±0,18)	27,19(±0,41)	1353,00	1,09E-38
PV	0,43(±0,01)	0,45(±0,003)	0,46(±0,01)	0,43(±0,02)	0,47(±0,02)	6,99	2,84E-04
e	0,98782(±0,00006)	0,98780(±0,00001)	0,98785(±0,00005)	0,98773(±0,00007)	0,98786(±0,00007)	6,99	2,84E-04
Umidade	0,34(±0,03)	0,34(±0,04)	0,35(±0,01)	0,34(±0,03)	0,39(±0,02)	12,65	1,58E-06