

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E SENSORIAMENTO REMOTO NA SELEÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS EM GUIA LOPES DA LAGUNA-MS

Gustavo Klinke Neto¹, Ivan Bergier Tavares de Lima², Victória Beatriz Soares Leandro³, Édson Luis Bolfe⁴

¹Doutorando, Universidade Estadual de Campinas, gus.klinke@gmail.com; ²Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, ivan.bergier@embrapa.br; ³Graduada, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, victoria.leandro@colaborador.embrapa.br e ⁴Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, edson.bolfe@embrapa.br

RESUMO

Este estudo aborda a utilização da Análise de Componentes Principais (PCA) como ferramenta exploratória e de indicação de fatores agroambientais com alta relevância em análises ambientais e/ou espaciais. O local de estudo é o município Guia Lopes da Laguna, pertencente ao projeto SemeAr Digital, coordenado pela Embrapa Agricultura Digital. Para a ACP foram selecionados dados provenientes de sensores orbitais disponíveis publicamente. Assim, os indicadores da sustentabilidade de ambientes rurais e/ou naturais considerados foram: Modelo Digital de Elevação (DEM), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Temperatura da Superfície da Terra (LST) e Aspecto do terreno. Com base nos resultados da PCA, podemos inferir que a variabilidade ambiental na área de estudo é fortemente influenciada pela interação entre topografia, temperatura da superfície e cobertura vegetal.

Palavras-chave — PCA, sensores orbitais, NDVI, sustentabilidade agroambiental.

ABSTRACT

This study explores the use of Principal Component Analysis (PCA) as an exploratory tool to identify key agro-environmental factors in environmental and/or spatial analyses. The study area is the municipality of Guia Lopes da Laguna, part of the Embrapa Digital Agriculture SemeAr project. For the PCA, data from freely available orbital sensors were selected. The sustainability indicators considered for rural and/or natural environments were: Digital Elevation Model (DEM), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Surface Temperature (LST), and aspect. Based on the ACP results, we can infer that environmental variability in the study area is strongly influenced by the interaction between topography, surface temperature, and vegetation cover.

Key words — PCA, orbital sensors, NDVI, agro-environmental sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Indicadores agroambientais são como termômetros que utilizamos para representar ou medir a influência de um determinado fator dentro de um processo, projeto ou sistema, auxiliando a tomada de decisões mais assertivas e direcionadas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, “indicadores ambientais são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas” [1]. Um bom indicador, como um bom termômetro, precisa ser simples e direto, conectando os objetivos que queremos alcançar com os dados que utilizamos.

A literatura especializada nos indica que a erosão do solo e a diversidade de vegetação foram os fatores mais frequentes e pesquisados entre 1993 e 2020, em um estudo sobre o uso de indicadores de sustentabilidade agrícola em pesquisas científicas, atestando a relevância de ambos para o tema [2]. Para Capoane et al. a manutenção da qualidade ambiental de bacias hidrográficas agrícolas está diretamente relacionada com áreas de saturação hídrica temporária ou permanente, que exercem uma importante função do ponto de vista hidrológico, ecológico e geomorfológico, além de apresentarem forte relação com a dinâmica do lençol freático. Em um ambiente computacional tais variáveis são derivadas da topografia, daí a relevância deste fator para as análises de sustentabilidade [3].

Já o fator queimadas, diretamente relacionado à temperatura da superfície da terra e à vegetação, é uma variável que vem ganhando cada vez mais destaque quando pesquisamos sobre impactos ambientais e mudanças climáticas. Feng et al. estimam que as queimadas já impactaram 90% das espécies de animais e plantas da Amazônia, e que a perda de habitat leva diretamente a uma perda de biodiversidade [4].

Neste cenário, as geotecnologias têm se mostrado ferramentas indispensáveis para a modernização da agricultura brasileira. Sua aplicação abrange desde o monitoramento preciso de culturas, passando pelo detalhado levantamento e caracterização de recursos naturais, até a elaboração de mapas de uso e cobertura da terra e a avaliação de cenários futuros [5]. Assim, a presente pesquisa aborda a utilização de dados de sensores orbitais e Análise de

Componentes Principais (PCA) para a escolha de indicadores da sustentabilidade agrícola que tenham potencial de representarem as condições agroambientais em futuras análises acerca da qualidade dos agroecossistemas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O município definido para este experimento foi o de Guia Lopes da Laguna, situado na porção sudoeste do Mato Grosso do Sul, o qual compõe como área de estudo do projeto SemeAr Digital coordenado pela Embrapa Agricultura Digital [6], no qual figura esta pesquisa. O clima da região é classificado como tropical seco com estação seca definida – Aw, segundo Köppen [7], exerce uma influência significativa na região. A alternância entre períodos úmidos e secos, combinada com a diversidade geológica, composta por rochas sedimentares (Serra Geral, Botucatu, Aquidauana) e ígneas (gabros, basaltos), contribui para a formação de diferentes tipos de solo e distribuição da vegetação.

A variedade geológica e as condições climáticas originaram solos como Latossolos, Plintossolos e Nitossolos, com fertilidade variável dependendo do material de origem [8]. A cobertura vegetal original era dominada por cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical, com áreas de floresta tropical subcaducifólia e floresta hidrófila de várzea, refletindo a adaptação das espécies às condições ambientais locais. Atualmente, o uso da terra é dominado por pastagens e agricultura, especialmente na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, onde mais de dois terços da área foi convertida para fins agropecuários [9].

Para a ACP foram selecionados dados provenientes de sensores orbitais gratuitos. Assim, os indicadores da sustentabilidade de ambientes rurais e/ou naturais considerados foram: Modelo Digital de Elevação (DEM) e Aspecto do terreno (variável derivada da topografia) obtidos a partir do sensor Alos-Palsar [10]. O DEM passou por checagem e correção de concetividade de canais e de áreas isoladas da rede de drenagem antes do cálculo da variável Aspecto; Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura da Superfície Terrestre (LST), obtidos a partir da imagem Landsat 8 de 25 de setembro de 2024 disponível na plataforma Earth Explorer da USGS (United States Geological Survey). As imagens passaram por correções atmosféricas e recortes de interesse antes do processamento do NDVI e da LST.

Após a geração dos quatro indicadores, todos foram normalizados através da técnica Z-score [11]. A normalização estabelece um conjunto de dados com média 0 e desvio padrão 1. Com esse processo os dados passam a ter distribuições Z-score, com mesma média e mesmo desvio padrão, possibilitando que diferentes distribuições possam ser diretamente comparadas. A normalização Z-score é uma ferramenta indispensável em análise de dados, pois permite a comparação direta entre variáveis com diferentes escalas e distribuições. A técnica garante que todas as variáveis tenham a mesma importância na análise, evitando que aquelas com

maior variância dominem os resultados. A saída adimensional facilita a interpretação e a aplicação de técnicas estatísticas subsequentes [12].

De acordo com Kamil & Ahmed e Sun et al., a ACP é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada em estudos ambientais, permitindo a redução da dimensionalidade de grandes conjuntos de dados, identificando as principais fontes de variação. Na análise ambiental, a ACP é empregada para explorar as interações de diferentes fatores na estrutura de dados de interesse. Ao extrair as componentes principais é possível identificar padrões e interações, melhorando a interpretação, visualização e identificação de tendências dos dados [13, 14].

As etapas da ACP foram as seguintes: (1) construção da matriz de correlação – essa matriz mostra a relação linear entre todas as variáveis originais; (2) cálculo do autovalor da matriz de covariância e do autovetor de cada autovalor – os autovalores representam a quantidade de variância explicada por cada componente principal, enquanto os autovetores indicam a direção desses componentes no espaço das variáveis originais; (3) extração dos componentes principais por meio da combinação linear de autovetores. Todas as análises citadas foram realizadas no software QGIS versão 3.38.3 – Grenoble.

3. RESULTADOS

Os Indicadores ambientais utilizados (Figura 1) e os cálculos gerados pela ACP (tabelas 1, 2 e 3) são apresentados a seguir.

	DEM	NDVI	LST	Aspecto
DEM	1			
NDVI	0,140	1		
LST	0,644	-0,364	1	
Aspecto	0,075	0,024	0,007	1

Tabela 1. Matriz de correlação.

		Componentes Principais			
		1	2	3	4
Autovalores / Variância		0,859	0,580	0,496	0,098
Auto-vetores	DEM	-0,63	-0,43	-0,18	0,61
	NDVI	0,25	-0,81	-0,31	-0,41
	LST	-0,72	0,12	-0,03	-0,67
	Aspecto	-0,06	-0,36	0,92	-0,03

Tabela 2. Componentes Principais

	Variância	Variância (%)	Variância acumulada
Comp. 1	0,859	42	42
Comp. 2	0,580	29	71
Comp. 3	0,496	24	95
Comp. 4	0,098	5	100

Tabela 3. Variância explicada.

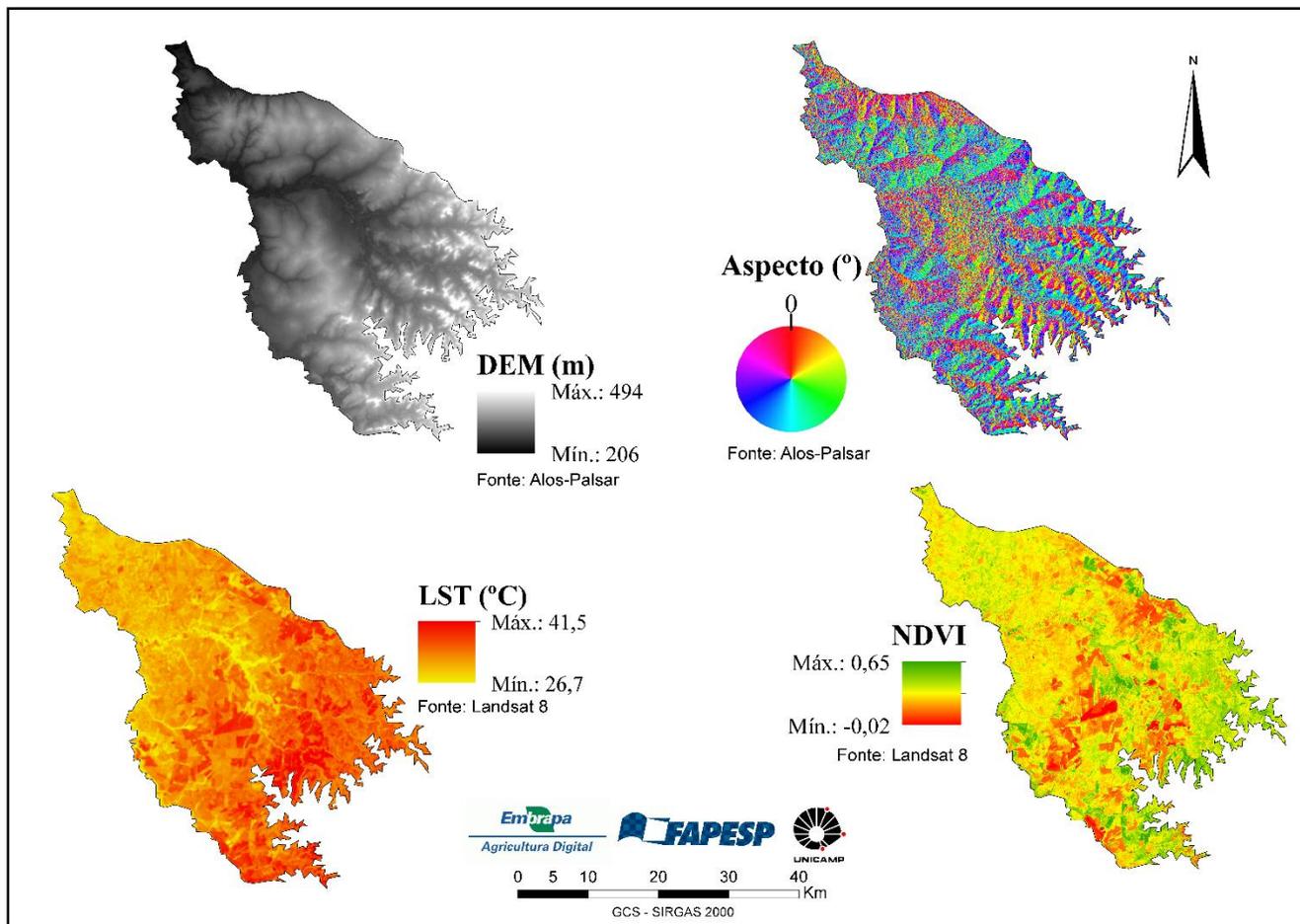


Figura 1. Indicadores ambientais para o município de Guia Lopes da Laguna – MS. Legenda: DEM = Modelo Digital de Elevação, em metros; LST = Temperatura de superfície terrestre, em graus Celsius; NDVI = Índice de Vegetação Normalizada, adimensional; Aspecto = Ângulo de Exposição Solar, em graus a partir do Norte.

4. DISCUSSÃO

A matriz de correlação (Tabela 1) mostra as interações entre os indicadores agroambientais selecionados: DEM, NDVI, LST e Aspecto (Figura 1). As relações mais relevantes foram:

DEM e LST: Apresentam uma forte correlação positiva (0,64) indicando que, à medida que a altitude aumenta, a temperatura da superfície tende a subir, um padrão comum em regiões secas onde a umidade fica confinada perto das drenagens e nas partes baixas do relevo onde a exposição solar é menor.

NDVI e LST: A correlação negativa (-0,36) sugere que áreas com maior densidade de vegetação tendem a apresentar temperaturas mais baixas. A vegetação desempenha um papel crucial na regulação térmica controlando a evapotranspiração e o sombreamento.

As demais correlações são relativamente baixas, indicando que elas possuem menor redundância e consequentemente apresentam maior complementariedade.

Primeiro componente principal (PC1): Explica 42,24% da variância total (Tabela 3) e é fortemente influenciado pelas

variáveis DEM e LST (Tabela 2). Essa porcentagem de aderência do primeiro componente também foi encontrada na aplicação de ACP na seleção de indicadores para monitoramento de qualidade das águas [15]. Isso sugere que o primeiro componente captura a variação relacionada à topografia e à temperatura da superfície. Áreas com altitudes mais elevadas e temperaturas mais altas tendem a ter valores mais altos no primeiro componente. Assim, o PC1 foi dominado pelas variáveis DEM e LST, e explica uma parcela significativa da variância total, indicando que a combinação de altitude e temperatura é um fator crucial na determinação das condições ambientais locais.

Segundo componente principal (PC2): Explica 28,51% da variância total e é fortemente influenciado pela variável NDVI. Isso indica que o segundo componente captura a variação relacionada à cobertura vegetal. Áreas com maior índice de vegetação tendem a apresentarem valores mais elevados no segundo componente. O PC2 esteve relacionado principalmente ao NDVI, o que destaca a importância da cobertura vegetal na modulação das condições ambientais. Áreas com maior densidade de vegetação tendem a apresentar

características térmicas e hídricas distintas, influenciando processos como a evapotranspiração e o balanço de energia. A vegetação também foi determinada, via PCA, como principal fonte de influência da infiltração de água em solos de produção agrícola [16].

Terceiro componente principal (PC3): Explica 24,41% da variância total e por sua vez é extremamente influenciado pelo Aspecto. O quarto componente principal (PC4) agrega cerca de 4,8% da variância, revelando pouca redundância dos indicadores propostos. A análise também sugere que o indicador Aspecto do terreno, apresenta uma influência menos pronunciada sobre as variáveis analisadas.

Recomenda-se a realização de estudos adicionais, com maior resolução espacial e temporal, para aprofundar a compreensão dos processos que controlam a variabilidade ambiental na área de estudo.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da Análise de Componentes Principais (APC), podemos concluir que a variabilidade ambiental no município de Guia Lopes da Laguna é fortemente influenciada pela interação entre topografia, temperatura da superfície e cobertura vegetal.

Em resumo, os resultados desta pesquisa demonstram a utilidade da APC para identificar os principais fatores que controlam a variabilidade ambiental em uma determinada região. As informações obtidas podem ser utilizadas para diversas aplicações, como o planejamento e gestão de recursos naturais, a avaliação de impactos ambientais e o monitoramento de mudanças climáticas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Campinas (Unicamp) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2022/09319-9 e 2024/02768-8.

7. REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Indicadores Ambientais. Disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html>. Acesso em: 20/set/2024.

[2] A. Ali., S. Perna. Sustainability indicators in Agriculture: A Review and Bibliometric analysis using Scopus database. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, vol. 115(2), 2021.

[3] V. Capoane, T. Tiecher, J.W.R.R. Alvarez, A. Pellegrini, G.L. Schaefer, L.J.C. Santos, D.;R. dos Santos. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores de carbono orgânico do solo. *Revista Geo UERJ*, nº 27, p. 144-155, 2015.

[4] X. Feng, C. Merow, Z. Liu, et al. How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. *Nature*, 597, 516–521, 2021.

[5] In: S.M.F.S. MASSRUHÁ, M.A.deA. LEITE, S.R.deM. OLIVEIRA,C.A.A. MEIRA, A. LUCHIARI JUNIOR, E.L. BOLFE, (Ed.). *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Brasília, DF: Embrapa, cap. 4, p. 94-118, 2020.

[6] EMBRAPA. Embrapa Agricultura Digital. Centro de Ciência para o Desenvolvimento em Agricultura Digital. CCD-AD/SemeAr. FAPESP. (2022). <https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/111242/centro-de-ciencia-para-o-desenvolvimento-em-agricultura-digital-ccd-adsemeAr/>

[7] M.C. Peel, B.L. Finlayson, T.A. McMahon. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.11, p.1633-1644, 2007.

[8] N. Curi, J.C. Ker, R.F. Novais, P. Vidal-Torrado, C.E. Schaefer (Editores) *Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 2017.

[9] C.M.R. Abrão, A. Soares Filho, A.G. Berezuk, G.A. Assis Júnior, A.F. Ribeiro. Mapeamento de conflitos entre uso da terra e cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente (APP) do rio Desbarrancando-MS, com imagem CBERS-4. *Anais do 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS*, 2018.

[10] ASF DAAC – Alaska Satellite Facility – 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_High-Res_Terrain_Corrected. Acessado pelo link, <https://asf.alaska.edu>, em 15/set/24.

[11] J. Salzman. *Methodological Choices Encountered in the Construction of Composite Indices of Economic and Social Well-Being*. Center for the Study of Living Standards. Canada, 2003.

[12] Z. Mei, L.M. Grummer-Strawn. Standard deviation of anthropometric Z-scores as a data quality assessment tool using the 2006 WHO growth standards: A cross country analysis. *Bull. World Health Organ.* v.85, p. 441–448. 2007.

[13] F. Kamil, S. Ahmed, Improving the accuracy of urban environmental quality assessment using geographically-weighted regression techniques. *Sensors*, 17(3), 528, 2017.

[14] X. Sun, H. Shao, X. Xiang, et al. A Coupling Method for Eco-Geological Environmental Safety Assessment in Mining Areas Using PCA and Catastrophe Theory. *Nat Resour Res* 29, 2020.

[15] H.M. Rocha, J.B.P. Cabral, F.F.N. Marcuzzo. Qualidade das águas em resposta aos efeitos do uso da terra na área de influência direta de reservatório pelo emprego da análise multivariada. *Boletim Goiano de Geografia*, v.40, e62750, 2020.

[16] V.F. Vidaletti, A.C. de Marins, D. Secco, R.L. Rizzi, P. Chang. Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17, 2021.