

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

GABRIEL PALUCCI ROSA

SOLOS DE AMBIENTE LACUSTRE NO VÃO DO PARANÃ – GO

Uberlândia – MG

2023

GABRIEL PALUCCI ROSA

SOLOS DE AMBIENTE LACUSTRE NO VÃO DO PARANÃ – GO

Trabalho Final de Graduação apresentado ao curso de graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito fundamental para a conclusão do bacharelado em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa

Uberlândia – MG

2023

## AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de iniciação científica concedida durante o período que foi realizado a pesquisa.

Ao INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, no nome de Raphael Medina que possibilitou a realização do trabalho de campo e auxílio a logística.

Ao meu orientador, Guilherme Resende Corrêa, pela paciência e os sábios conselhos ao longo desses anos, auxiliando minha caminhada no meio acadêmico e na vida.

Ao meu irmão Raphael Palucci Rosa, que apesar da distância, sempre esteve presente me apoiando nas minhas escolhas e incentivando nos estudos.

A todas e todos pesquisadores que participaram comigo nos trabalhos de campo ao longo da graduação e me ensinaram tudo que eu sei hoje, principalmente, Daniel Arruda e Rúbia que abriram a porta de sua casa para me receber.

A todos membros do LAPEP – Laboratório de Pedologia e Estudos da Paisagem, cada um deles foi fundamental para minha formação tanto acadêmica e como ser humano.

A Paula Queiroz, Tatiana e Roberta Franco que me auxiliaram e me deram diversas dicas de como organizar e apresentar este trabalho.

Aos membros LabGeo e Laboratório de Mineralogia da Universidade Federal de Viçosa que me acolheu durante semanas e me auxiliaram a realizar algumas das análises que estão presente nesse trabalho.

A todos os colegas e tutores que estiveram comigo no Programa de Educação Tutorial (PET), que foi fundamental na minha formação acadêmica, em especial Paulo Henrique, João Guilherme, Ana Laura, Mirlei e Beatriz.

A Tatiana e Kamila que sem ajuda de vocês estaria navegando à deriva, vocês são muito importantes pra min, e agradeço a nossa amizade.

Aos amigos do PodFala, Gustavo, Rafael, Samuel e Cristiano que sempre estiveram ao meu lado nos momentos tristes e felizes nesse período da graduação.

A todos funcionários do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

Aos meus pais Roberto Rosa e Maria Aparecida Palucci

A todos meus familiares.

## RESUMO

O Vão do Paranã possui ambientes peculiares e pouco estudados, como a ocorrência de lagoas rasas em meio a solos geralmente arenosos semelhança do padrão do Pantanal da Nhecolândia em Mato Grosso do Sul. A região é diversa, com diferentes classes de solos: Plintossolos, Chernossolos, Planossolos, Neossolos, Cambissolos. A vegetação original também é variada: mata seca, cerrados, veredas e matas ciliares. O trabalho teve por objetivo caracterizar os aspectos físicos, químicos e mineralógicos dos solos que ocorrem no Vão do Paranã associados aos ambientes lacustres, bem como avaliar sua gênese e influência do material de origem nas características do solo. Para isso foram realizadas análises físicas e químicas, difratograma de raios-X (DRX), teores totais na TFSA, equivalente de carbonato e análises estatísticas como análise de componentes principais (PCA), e agrupamento por cluster. No afloramento calcário associado a Mata Seca foi identificado a ocorrência de Chernossolo Háptico Ôrtico leptofragmentário (P1), nas lagoas intermitentes com vegetação hidrófila a presença de Planossolo Háptico Eutrófico vértissólico, a borda da lagoa sob cerrado campo sujo está associado ao Neossolo Quartzarênico Ôrtico típico, e nos ambientes bem drenados associado a cerrados stricto sensu ocorre Neossolo Quartzarênico Ôrtico típico. Em P1, destaca-se valores altos de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , acima de 13 e 7  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  respectivamente, além de valores de P acima de 600  $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ , corresponde a possível influência de chiropteras. No perfil 2, no horizonte Btg do Planossolo ocorre teores elevados de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  com valores de 11,39 e 3,17  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  nesta ordem, com presença de aumento de argila em superfície abrupta, relação B/A 5,6, além de atividade de argila alta, acima de 36  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ . Já nos Neossolos Quartzarênicos, P3 e P4, observou-se valores elevados de saturação de alumínio, acima de 80%, e acentuada distrofia. A região pode ser agrupada em três pedoambientes, sendo o primeiro associado a afloramentos do Grupo Bambuí, com Chernossolos; o segundo aos solos formados pelo intemperismo da Formação Urucuia, com Neossolos Quartzarênicos; e o terceiro a área abaciada onde há presença das lagoas intermitentes com Planossolos. A mineralogia da argila natural apresentou minerais semelhantes em todos os horizontes analisados, com a ocorrência de Caulinita, quartzo e Hematita, sendo exceção no P2 com presença de argilominerais expansivos 2:1 como montmorolona. Nos teores totais, a partir da TFSA, destacou-se em P1 elevado teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , acima de 600  $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$  mantendo o comportamento evidenciado pela extração Mehlich-1, em P2 os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  destoou-se no horizonte Btg 122 e 66  $\text{g}.\text{kg}^{-1}$  respectivamente, já em P3 e P4, o  $\text{SiO}_2$  foi de longe o principal elementos da composição do solo com mais de 90% da composição. A PCA explicou 80,2% variância, distinguiu os ambientes em três grupos, sendo o primeiro associado ao afloramento do grupo Bambuí, o segundo aos solos formados pelo intemperismo do Urucuia e o terceiro a área abaciada onde há presença das lagoas intermitentes. Formando um eixo eutrófico, associado ao afloramento e distrófico associado aos solos formados do intemperismo das rochas do Urucuia.

**Palavras-chave:** Gênese de solos, Evolução da Paisagem, Pedologia, Lagoas Intermitentes.

## ABSTRACT

### Keywords:

The Vão do Paranã has peculiar and little studied environments, such as the occurrence of lagoons like the pattern of the Nhecolândia Pantanal in Mato Grosso do Sul. The region is diverse, with different soil classes: Plintossolos, Chernossolo, Planossolo, Neossolos, Cambissolos. The original vegetation is also varied: dry forest, savannahs, paths and riparian forests. The objective of this work was to characterize the physical, chemical and mineralogical aspects of the soils that occur in the Vao do Paranã associated with lacustrine environments, as well as to evaluate their genesis and the influence of the source material on the soil characteristics. For this, physical and chemical analyses, X-ray diffractogram (XRD), carbonate equivalent, s such as principal component analysis (PCA) and cluster analysis were carried out. In the limestone outcrop associated with Mata Seca it was identified the occurrence of Chernossolo Háplico Ôrtico leptofragmentário, in the intermittent lagoons with hydrophilic vegetation the presence of Planossolo Háplico Eutrófico Vértissólico, the edge of the lagoon under cerrado campo sujo is associated with the Neossolo Quartzarênicos Ôrtico, and in the well-drained associated with cerrados stricto sensu occur typical Neossolo Quartzarênicos Ôrtico. In profile 2, in the Btg horizon of Planossolos, there are high contents of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  with values of 11.39 and 3.17  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , respectively, with an increase in clay on an abrupt surface, a B/A ratio of 5.6, in addition to high clay activity, above 36  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ . In Neossolos, P3 and P4, high values of aluminum saturation were observed, above 80%, and marked dystrophy. The region can be grouped into three pedoenvironments, the first associated with Bambuí Group outcrops, with Chernossolos, the second to soils formed by weathering of the Urucuia Formation, with Neossolos Quartzarênicos, and the third to the flat area where there are intermittent lagoons with Planossolos. The natural clay mineralogy presented similar minerals in all analyzed horizons, with the occurrence of Kaolinite, quartz, and hematite, except for P2, where there was the presence of expandable 2:1 clay minerals such as montmorillonite. In total content analysis from TFSA, P1 stood out for its high  $\text{P}_2\text{O}_5$  content, above 600  $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ , maintaining the behavior evidenced by Mehlich-1 extraction. In P2,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents were higher in the Btg horizon, with 122 and 66  $\text{g}.\text{kg}^{-1}$ , respectively. In P3 and P4,  $\text{SiO}_2$  was by far the main element in the soil composition, with over 90% of the composition. The PCA explained 80.2% variance and distinguished the environments into three groups, with the first group associated with the Bambuí group outcrop, the second group associated with soils formed by weathering of Urucuia Formation, and the third group associated with the abaciated area where there is the presence of intermittent lagoons. Forming a eutrophic axis associated with the outcrop and dystrophic associated with the soils formed from Urucuia rock weathering.

**Keywords:** Soil Genesis, Landscape Evolution, Pedology

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Superfícies Regionais de Aplainamento no Vão do Paranã em Goiás – contato da SRAIIA com a SRAIVA, juntamente com a presença de HB-ED (Colinas e Cristas). ....	3
Figura 2. Conjuntos de lagoas e meandros abandonados que formam o padrão da área de estudo localizado a oeste do município de Alvorada do Norte.....	4
<b>Figura 3.</b> Distribuição da Precipitação de 1969 a 2008, apresentada em Boxplot, utilizando a estação automática 01447001, localizada em Flores de Goiás (GO). ....	5
Figura 4. Localização da área de estudo com perfis topográficos. O perfil 1 localiza-se na borda de afloramento de calcário do grupo Bambuí, com relevo montanhoso e presença de vegetação decídua, os demais perfis configura-se em uma sequência, de dentro de uma lagoa, P2, até sua borda P4, com sutil oscilação na altitude, e variação de vegetação hidrófila, no centro, para cerrado Stricto Sensu nas áreas afastadas.....	6
Figura 5. Perfis e os seus respectivos ambientes. ....	11
Figura 6. Áreas inundáveis e canais abandonados no Vão do Paranã associados ao rio Corrente e rio Paranã. ....	16
Figura 7 - Comportamento da relação Zr/Ti com o aumento da profundidade em cm de cada solo . A linha pontilhada representa o aumento de 100% do valor mínimo evidenciado. Valores obtidos a partir de FRX da TFSA. ....	20
Figura 8 - Análise de Componentes Principais (PCA) para solos do Vão do Paranã - GO ....	21
Figura 9 Cluster hierárquico utilizando atributos edáficos no agrupamento dos horizontes dos perfis de solo do Vão do Paranã. ....	22
Figura 10 Difratoograma da argila natural dos perfis coletados no Vão do Paranã. Valores em d indicados em nanómetro (Nm). Ct: Caulinita; Qz: Quartzo; Mmt: Montmorilonita; Hm: Hematita; Ca: Calcita.....	23
Figura 11 Difratoograma da fração argila do perfil P2 horizonte Btg, com pré-tratamentos. Valores em d indicados em angstrom (Å). Ct: Caulinita; Qz: Quartzo, Mmt: Montmorilonita Hm: Hematita, Ca: Calcita; feldspato K. Sem tratamento (ST); Desferrificada (DCB), Desferrificada e saturada por magnésio (Mg); Desferrificada, saturada por magnésio e etileno glicol (Mg EG); Desferrificada e saturada por potássio a temperatura ambiente (K25); posteriormente aquecida a 100 °C (K100); e a 350 °C (K350).....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos Físicos dos solos em Ambiente Lacustre no Vão do Paranã.....	13
Tabela 2. Atributos Químicos do solo em Ambiente Lacustre Vão do Paranã.....	15
Tabela 3. Teores totais da TFSA dos horizontes do perfil estudados.....	18

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Área de Estudo .....	3
2.2 Coleta e análise dos solos .....	7
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>9</b>
3.1. Gênese e aspectos gerais .....	9
3.2. Teor Total .....	17
3.3. Análises exploratórias e agrupamento de dados. ....	20
3.4. Análises Mineralógicas .....	22
<b>4. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Vão do Paranã, localizado no nordeste goiano, foi umas das últimas regiões a ser impactada por atividades agropecuárias no estado. Essa região foi ao longo de décadas utilizada para o manejo de gado, devido às extensas áreas de várzea e de pastagem naturais utilizadas na seca, e pelas campinas nos chapadões utilizadas no período chuvoso (BARREIRA, 2002).

Na região ocorrem aproximadamente 190.000 ha originariamente de Florestas Estacionais Decíduas (FED) (HERMUCHE, P. M, 2010), que são uma fisionomia florestal geralmente associada a solos férteis (RIBEIRO & WALTER, 2008). As áreas de ocorrência da FEDs, no bioma Cerrado, se encontram bastante fragmentadas, em função da intensa atividade pecuária e exploração de madeira (SCARIOT & SERVILHA 2005; FELFILI *et al.* 2007).

O mapeamento realizado das Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira, apresenta que 35% da região do Vão do Paranã está inserida nas classes de alta e muita alta prioridade para preservação de biodiversidade (BRASIL, 2015). Mesmo assim há carência de estudos que favoreçam políticas adequadas de uso e ocupação do solo.

A falta de estudos e políticas públicas possibilita o avanço da fronteira agrícola sem que se tenha um planejamento adequado, promovendo assim, a ocupação de áreas prioritárias para conservação. A alteração dos ambientes, pela ação antrópica, promove a redução do tamanho e isolamento das manchas remanescentes de vegetação nativa, além de possíveis extinções de espécies que não sobrevivem em pequenos fragmentos (SCARIOT & SERVILHA 2005).

Esses fragmentos de vegetação estão distribuídos pela paisagem sem contato com outros remanescentes dificultando os fluxos de matéria e energia entre estes, e favorece o aparecimento de espécies invasoras, promovendo mudanças no fluxo de radiação e acarretando o efeito de borda (PIVELLO, 2005, SAUNDERS, 1991), além de possibilitar a ocorrência de monodominância de espécies.

Mesmo em áreas preservadas, com presença da vegetação nativa, é possível identificar o corte seletivo de espécies como a *Myracadruon urundeuva* (Aroeira), *Schinopsis brasiliensis* (braúna), *Tabebuia impetiginosa* (ipé-roxo), *Cedrela fissilis* (cedro) e *Machaerium sclecoxylon* (pau-ferro), para confecções de cercas, currais, móveis e construção civil.

Entendendo a paisagem como sendo o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem dela um conjunto único e indissociável. A paisagem, em sua perpétua evolução, deve, portanto, ser analisada em perspectivas sistêmicas e integradoras

(BERTRAND, 2004). Desta maneira, o estudo da paisagem deve colaborar com o planejamento territorial, considerando as condições de resiliência do ambiente natural, e possibilitar aplicações com a preservação da natureza (KLINK, 1981).

O último grande projeto de levantamento de aspectos físicos no Brasil foi RADAMBRASIL na década de 1970 - 80, no qual o mapeamento exploratório se deu na escala de 1: 1.000.000. Projetos recentes realizados pelo Estado de Goiás junto com a Companhia de Pesquisa e de Recursos Naturais (CPRM) resultaram em trabalhos como Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal (MOREIRA *et al* 2008) e Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal (LATRUBESSE, E & CARVALHO, T M, 2006), com mapeamento de reconhecimento de baixa intensidade, escala de 1:500.000, possibilitando análises das estruturas morfológicas e a geologia do Estado.

Trabalhos sobre o Planalto Central Brasileiro vêm sendo realizados buscando entender a dinâmica da paisagem evolução e gênese do solo em escala regional (MOTTA, 2002; LYNCH, 2009), a vegetação sobre afloramentos calcários no Brasil Central (CARVALHO, F A, 2009) e modelagem das FEDs no Vão do Paranã (HERMUCHE, P. M, 2010). Entretanto, estudos em escalas de maior detalhe são escassos, destacando-se CARVALHO & ZUCHI, (2009), que propõe uma primeira aproximação do meio físico dos ambientes lacustres no Vão do Paranã.

As lagoas, assim como os solos, se modificam com tempo geológico e por ações antrópicas, desde modo, não são considerados como elementos permanentes e estáveis na paisagem (ESTEVEZ, 1998; RESENDE *et al* 2007). Os solos são as expressões resultantes de diversos processos que ocorreram durante milhares a centenas de anos e seus efeitos são acumulativos nos ambientes. Ao descrevê-los, em todos os seus aspectos e complexidade, podemos classificá-los e ter uma melhor compreensão sobre a área em que eles ocorrem (KÄMPF & CURI, 2015). Entender como ocorreu essa evolução no decorrer do tempo, possibilita realizar modelos de reconstrução do passado, proporcionando assim, uma melhor compreensão da evolução da paisagem. (RESENDE, M *et al* 2007).

Deste modo, o presente trabalho visa caracterizar os solos em relação aos ambientes que são evidenciado na paisagem, e os processos de gênese dos ambientes lacustres e sua influência na pedogênese dos solos.

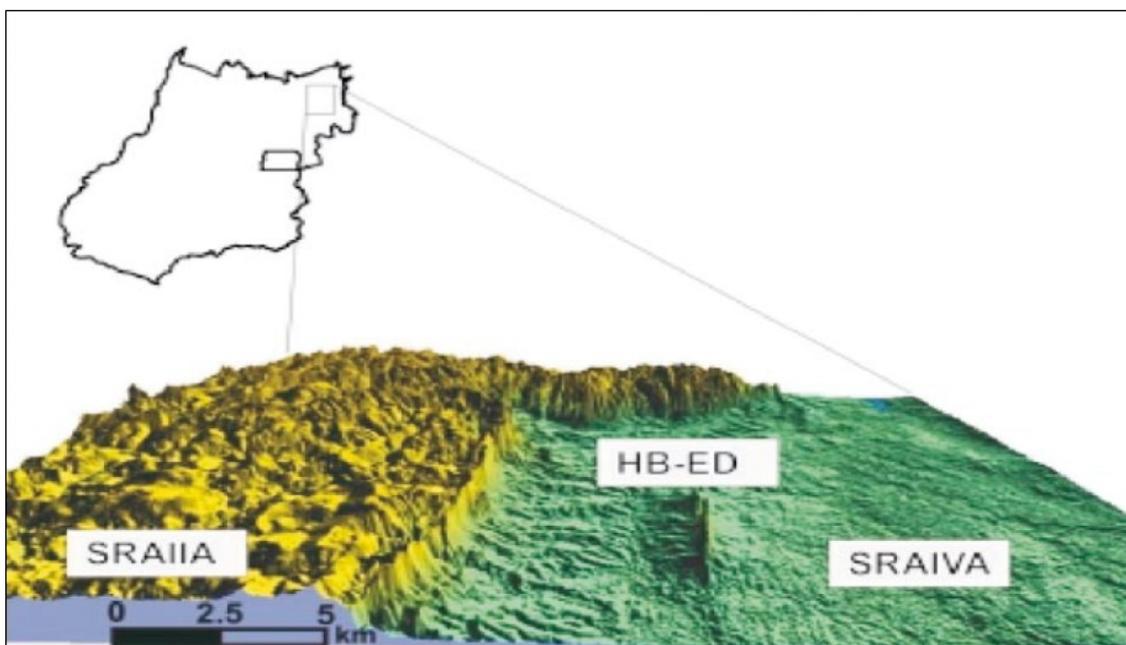
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O Vão do Paranã é caracterizado por ser um domínio de depressões e relevo aplainado, posicionado entre o Planalto do Divisor São Francisco-Tocantins a leste e Planalto Central Goiano a oeste (RADAM, 1982). Destaca-se por apresentar afluentes do rio Tocantins, dentre eles o rio Paranã, localizado no setor sul da depressão do Tocantins, tendo sua nascente localizada na cidade de Formosa-GO. Nessa área é possível identificar lineações com sentido SE-NO, sobre as rochas do Grupo Bambuí, fazendo com que a área se diferencie por apresentar lagoas temporárias de formas arredondadas (RADAM, 1982).

O sistema geomorfológico proposto por (LATRUBESSE, E & CARVALHO, T M, 2006), para fins de mapeamento do estado de Goiás, foi composto em áreas agradacionais (deposições) e denudacionais (erosões). No caso da região do Vão do Paranã, que se encontra sobre sistemas denudacionais, apresentam distintas superfícies regionais de aplainamento (SRA) correspondendo áreas aplainadas por processos geomorfológicos em que sua gênese, no caso específico no estado de Goiás, tem sido interpretado por LATRUBESSE, E & CARVALHO, T M (2006), pelos processos de Etchplanação ou processos de relevo poligênicos (Figura 1).

Figura 1. Superfícies Regionais de Aplainamento no Vão do Paranã em Goiás – contato da SRAIIA com a SRAIVA, juntamente com a presença de HB-ED (Colinas e Cristas).

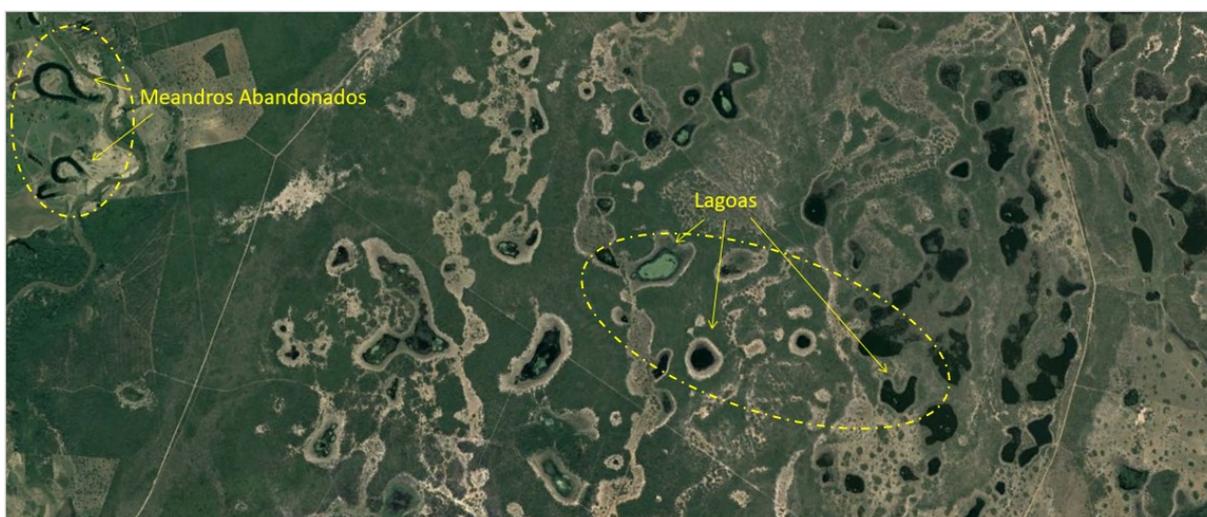


Fonte: LATRUBESSE, E. & CARVALHO, T. M (2006).

No Vão do Paranã a presença da Superfície Regional de Aplainamento (SRAIIA), entre as cotas 900 - 1.250 m, se caracteriza por ser por uma zona de erosão recuante acima da SRAIVA. Está se desenvolve sobre as formações proterozóicas menos resistentes, composta por ardósias, calcários, dolomitos, apresentando crostas lateríticas, desenvolvidas sobre rochas do grupo Paranoá. Evidencia-se também a Superfície Regional de Aplainamento (IVA) com a presença de hogbacks e cristas (HB-ED) formados pelos processos de dobramentos, ocasionados pelo Ciclo Brasileiro pré-proterozóico sobre rochas pré-cambrianas (LATRUBESSE, E & CARVALHO, T M, 2006).

Uma das peculiaridades encontradas no Vão do Paranã é a ocorrência de ambiente lacustres, com elevada quantidade de lagoas semelhantes ao Pantanal da Nhecolândia, sobre a SRAIVA, sendo assim, necessitando uma subunidade denominada de superfície de aplainamento regional IV associada a ambientes lacustres SRAIV-LA (Figura 2). (LATRUBESSE, E & CARVALHO, T M, 2006).

Figura 2. Conjuntos de lagoas e meandros abandonados que formam o padrão da área de estudo localizado a oeste do município de Alvorada do Norte.



Fonte: Digital Globe (2022).

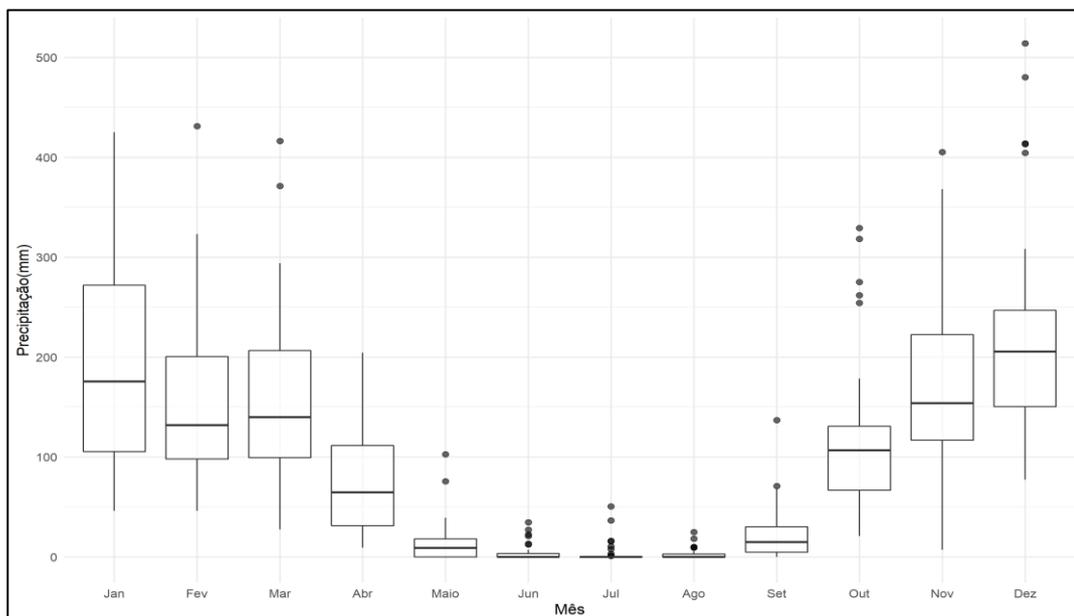
Existe distinção entre lagos e lagoas, sendo os primeiros definidos como corpos d'água profundos e que, por isto, apresentam estratificações térmicas com diferentes teores de oxigênio dissolvido, delimitando diferentes camadas tropogênicas (KLEEREKOPER, 1944). De maneira oposta, as lagoas são corpos de água de conformação geralmente rasa, sem estratificações e podem ser classificados em diferenciados grupos dependendo da sua gênese (ESTEVEZ, 1998; KLEEREKOPER, 1944). Nos ambientes lacustres, encontrados no Vão do

Paraná, as áreas que afloram água não apresentam profundidade para apresentar estratificação térmica e diferentes teores de oxigênio, desta maneira, no presente trabalho, serão categorizadas como lagoas.

As características pedológicas, climáticas, geológicas e geomorfológicas têm relações intrínsecas na estruturação, comportamento e sustentação desses ambientes. Desta forma, as modificações no uso e ocupação no meio, por fatores antrópicos, provocam remodelação das paisagens impactando sua resiliência. Mudanças no uso da terra como a expansão da agricultura nas áreas de ocorrência e entorno dos ambientes lacustres podem acarretar assoreamentos, redução do nível da água e eutrofização das lagoas, impactando sua fauna e flora (CARVALHO & ZUCHI, 2009).

As lagoas dessa região são sazonais, sendo que as oscilações relacionadas com a precipitação regional. O clima é caracterizado pela presença de período seco de 4 a 5 meses e segundo a classificação de Köppen a área é classificada como tropical de savana (Aw). Diante da análise dos dados climáticos (Figura 3) no período seco a precipitação não ultrapassa 150 mm mesmo nos anos atípicos demonstrados pelos *outliners*, representados pelos círculos.

**Figura 3.** Distribuição da Precipitação de 1969 a 2008, apresentada em Boxplot, utilizando a estação automática 01447001, localizada em Flores de Goiás (GO).

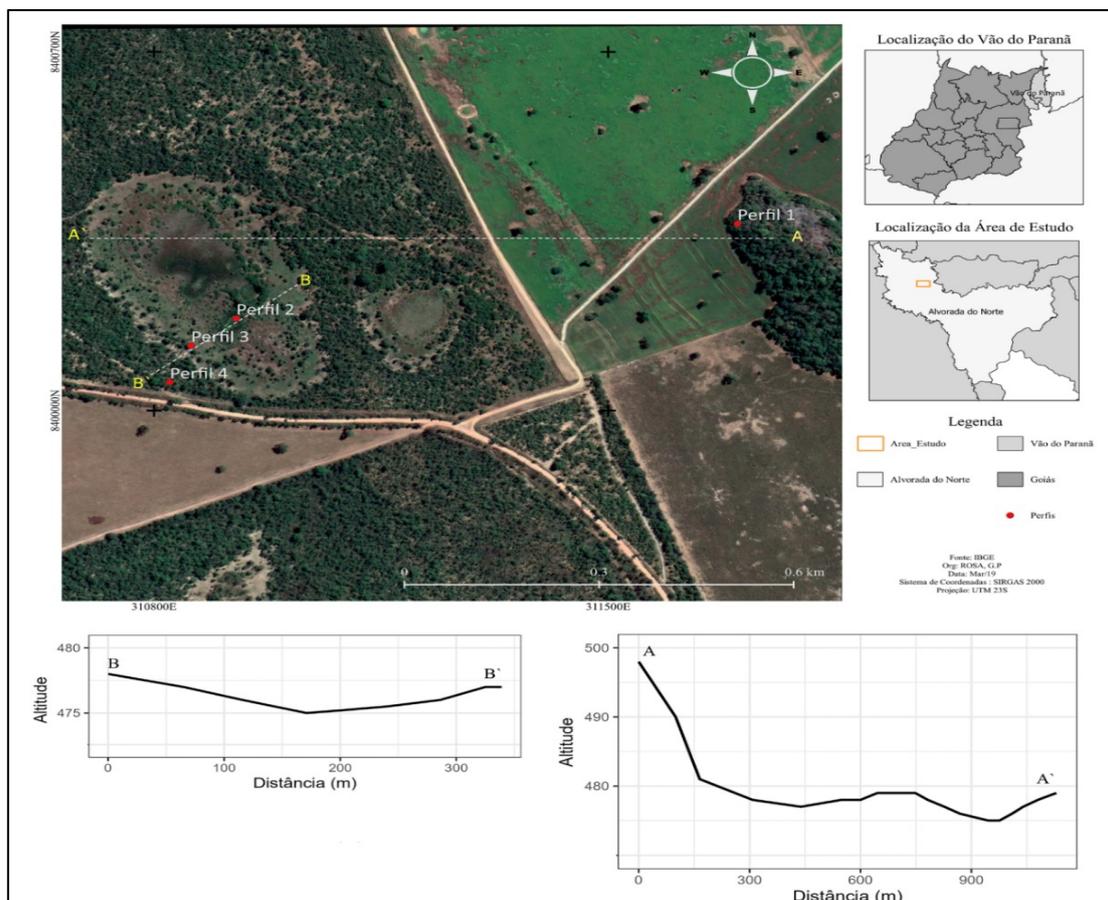


Fonte: Estação automática 01447001

Organização: ROSA, G. P. (2019)

A variação da precipitação anual durante os anos analisados foi máxima em 1969, com 1453,6 mm, e mínima em 2007, com 640 mm (Figura 4). Na região nordeste do estado de Goiás as áreas com maiores altitudes têm médias anuais de precipitação superiores a 1.500 mm e as mais baixas, como o Vão do Paranã, inferiores a 1.300 mm (IBGE, 1995). A média anual de evaporação se encontra no intervalo entre 1.900 mm e 2.100 mm. A baixa precipitação e alta evaporação durante o período de seca contribui para a deciduidade da vegetação, principalmente nas áreas com a presença das FED sobre solos rasos (SCARIOT & SERVILHA 2005). Na Figura 5 é possível observar o ambiente que foi realizado o estudo e a distribuições dos pontos de amostragem, buscado representar todas feições e diferentes paisagens associados a área.

Figura 4. Localização da área de estudo com perfis topográficos. O perfil 1 localiza-se na borda de afloramento de calcário do grupo Bambuí, com relevo montanhoso e presença de vegetação decídua, os demais perfis configura-se em uma sequência, de dentro de uma lagoa, P2, até sua borda P4, com sutil oscilação na altitude, e variação de vegetação hidrófila, no centro, para cerrado Stricto Sensu nas áreas afastadas.



Fonte: Bases Cartográficas IBGE (2018).  
Elaboração do autor (2019).

Predomina Savana Arbórea Aberta na região, caracterizada pela vegetação distribuída sobre extrato graminoso, sem a formação de um dossel contínuo, conhecida também como Cerrado *stricto sensu* (RADAM, 1982; RIBEIRO e WALTER, 1998). Encraves de Floresta Estacional Decídua são comuns nas áreas com maior influência calcária (SCARIOT & SERVILHA 2005).

A FED, também chamada de Mata Seca, é uma formação que não possui associação aos cursos de água e apresenta vegetação caducifólia durante a seca (RIBEIRO e WALTER, 1998). As Matas Secas que ocorrem em calcário apresentam características que as diferem das outras florestas. As copas geralmente não se tocam, apresentam baixa cobertura foliar no período da seca, chegando a 15% e, além disso, em ambientes com afloramento rochoso há dificuldade da sustentação e aumento da probabilidade de mortalidade dos indivíduos (RIBEIRO e WALTER, 1998; FELFILLI *et al.* 2007). Essas singularidades promovem a colonização de espécies específicas (FURLEY & NEWY 1979).

## 2.2 Coleta e análise dos solos

A coleta do solo foi realizada em agosto de 2017. Foram abertos quatro perfis de solo, em quatro diferentes ambientes: P1) Afloramento; P2) Lagoa intermitente; P3) Borda da Lagoa; e P4) Área bem drenada.

Os solos foram descritos e coletados conforme (SANTOS *et al.* 2015) e (IBGE, 2015), e classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). A cor do solo foi obtida a partir da caderneta de Munsell (MUNSELL, A 1994). As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), que foram submetidas a análises de acordo com os métodos descritos por (TEIXEIRA, P C *et al.*, 2017) nos laboratórios da Universidade Federal de Viçosa (MG). A análise textural foi realizada pelo método de peneiramento/pipetagem com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 horas e determinação da argila por pipetagem. O pH foi determinado em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> em suspensão solo/solução na proporção 1:2,5. Os cátions trocáveis foram extraídos por KCl 1 mol.L<sup>-1</sup> e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) e por titulometria com NaOH (Al<sup>3+</sup>). A acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH. O P disponível, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e micronutrientes (Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup>) trocáveis foram extraídos pelo Mehlich-1, e determinados por espectrofotômetro de plasma induzido. O Carbono Orgânico foi determinado

por Walkley Black sem aquecimento. Os teores de  $\text{CaCO}_3$  foram mensurados utilizando  $0.5 \text{ mol.L}^{-1}$ , titulado com NaOH.

Com base nos dados granulométricos é possível determinar a ocorrência de descontinuidade litológica entre os horizontes a partir do valor de uniformidade (VU) obtido a partir da Equação 1 (SCHAETZL, R, 1998). Nesse estudo, valores  $\pm 0.6$  foram determinados para identificar a presença de descontinuidade litológica.

$$VU = \frac{[(S + AF) / AG] \text{ do horizonte superficial}}{[(S + AF) / AG] \text{ do horizonte subsuperficial}} - 1,0 \quad \text{Equação (1)}$$

Em que,

S = Fração Silte

AF = Fração Areia Fina

AG = Fração Areia Grossa

A separação das frações dos solos para análise de difratograma de raio X (DRX) foram realizadas a partir de 50g de terra fina seca ao ar (TFSA), sendo que as frações granulométricas foram dispersas pelo agitador vertical de Wagner a 50 rpm por 16 horas com solução de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após o procedimento, a fração areia foi separada por lavagem em peneira de 0,2 mm e colocada para secar na estufa a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 horas. A argila foi sifonada, seguindo o princípio da lei de Stokes e seca em  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Todas as frações separadamente foram maceradas a pó no almofariz de ágata.

Após a separação das frações, a fração argila foi preparada em lâmina delgadas de vidro orientadas por esfregaço. Para além disso, foram realizadas lâminas específicas para tratamento de argilomineral 2:1 expansivas, com amostras desferrificadas com DCB (MEHRA E JACKSON, 1960) e saturadas por  $\text{MgCl}_2$   $1 \text{ mol.L}^{-1}$ , Mg+glicerol com glicerol na proporção 1:10 e KCl  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  a 25, 100 e  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . O difratometria de raio X foi realizado no difratômetro Shimadzu XRD-6000, com velocidade de leitura de  $1^\circ 2\theta/\text{min}$ , amplitude de 4 a  $70^\circ 2\theta$ , e operando a 30 mA e 40kV.

A composição química total foi obtida utilizando Fluorescência de Raio-X (FRX). As pastilhas fundidas foram preparadas a partir de 1g de solo (TFSA) e 8 gramas de tetraborato de Lítio (fundente), sendo submetidas posteriormente ao aparelho Brunner S8 Tiger.

### 2.3 Dados Secundários e Análises Estatística

A elaboração do mapa foi realizada a partir do software *Quantum Gis* 2.18. Para analisar, os dados físicos e químicos do solo em relação aos ambientes amostrados foi realizado a Análise dos Componentes Principais (PCA). As variáveis utilizadas foram previamente selecionadas por correlação de Spearman, com objetivo de retirar as variáveis fortemente correlacionadas entre si, que podem “inflar” os resultados. Assim, foram utilizadas 12 variáveis das 25 que compunham a base de dados. Além disso todos os valores foram padronizados possibilitando comparações. Para avaliar se os dados apresentam tendência de formar grupos foi realizado hopking statist, em que, se o valor de  $H > 0.5$  a formação dos agrupamentos não ocorrem de forma randômica. Posteriormente, a fim de identificar a existência de agrupamentos entre os diferentes horizontes, foi realizado análise de *cluster* hierárquico utilizando a mesma base de dados anterior. As análises estatísticas foi utilizado os pacotes FactoMineR, factoextra, cluster e ggplot2 pelo *software* R! 3.6.0.

Para obtenção dos dados climáticos utilizou-se da estação automática 1447001, localizada na cidade de Flores de Goiás, Goiás, a 26 quilômetros da área de estudo. A base de dados foi obtida pelo Hidroweb da Agencia Nacional de Águas (ANA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Gênese e aspectos gerais

No solo das áreas de afloramento há a ocorrência de horizonte A chernozêmico, seguindo os critérios do SIBCs (EMBRAPA, 2018), sendo assim P1 enquadrado-se na ordem dos Chernossolo. Apesar dos teores elevados de  $\text{Ca}^{2+}$  não foi possível o enquadramento no segundo nível categórico como rênzico, devido aos teores de  $\text{CaCO}_3$  inferiores a  $150 \text{ g.kg}^{-1}$  (Tabela 2), ficando com classificação final Chernossolo Háptico Ôrtico leptofragmentário, sendo último nível devido contato lítico fragmentado.

No Perfil 1 (P1) a cor úmida do solo do horizonte superficial A1 (0-22cm) é 10YR 2/1 e mantém-se a mesma até A3 (44 – 60<sup>+</sup> cm), apresentando croma e valor baixo (Tabela 1). A cor escura do horizonte superficial é proveniente do processo de melanização, que ocorre pela presença de elevado teor de matéria orgânica  $12,43 \text{ dag.kg}^{-1}$  (Tabela 2), sendo que, em ambientes com elevados teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , a matéria orgânica depositada se torna mais estável (CORRÊA *et al.*, 2003). A estrutura do solo é moderada, pequena e média grumosa no horizonte A e moderada, pequena e granular nos horizontes subsuperficiais (Anexo 1). A estrutura grumosa no horizonte superficial tem relação com os teores de MO que reveste a superfície dos pedos.

O aumento da matéria orgânica promove agregados e porosidade no solo, favorecendo a infiltração e capacidade de retenção de água no solo (KÄMPF & CURI, 2015). Por ter o material de origem derivado de calcário, do Grupo Bambuí, o valor de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  encontrado foi elevado,  $18,54 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  e  $7,73 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  respectivamente no horizonte A (Tabela 2), representando as principais bases que compõem a saturação de base (SB). A SB apresenta uma diminuição com a profundidade porém mantém teores maior que  $13 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ .

O fósforo disponível em P1 destoou de todos os demais perfis, chegando a valores de  $765,1 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$ . Apesar da ocorrência de fosforitos no Grupo Bambuí, nas cidades de Campos Belos-GO, na Formação Sete Lagoas, com teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  acima de 11% (MONTEIRO, C.F. 2009), não foi evidenciado em campo presença de fosforitos no afloramento. O elevado valor indica que há possíveis agentes de deposição de forma orgânica de P (NOVAIS, R.F. SMYTH, T.J. NUNES F.N, 2007). Em estudo realizado acerca das FED sobre afloramentos de calcário no Brasil Central por (CARVALHO F A, 2009), foram coletados solos entre 0-20 cm em 25 parcelas no estudo, nos quais o valor de P variou de 1,51 a  $125,79 \text{ mg}/\text{dm}^3$  quantidade bem inferior a encontrada neste trabalho.

Em campo foi possível identificar “cavidades” nos afloramentos calcários, o que reforça a hipótese de que o elevado valor esteja associado a depósitos de guano de morcegos, que se abrigam próximo a área de coleta. Vale ressaltar, que são pequenos frestas entre os fragmentos de rochas. Os quirópteros são importantes produtores de guano, material rico em P (KARKANAS, P 2017). O elevado valor, acima de  $500 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$  (Tabela 2), se assemelha aos solos evidenciados no interior de cavidade naturais em Carajás, em estudos de Andrade, P. B. D. (2019)

O P pode se distribuir nos solos próximos às cavidades ao longo de muito tempo através da ciclagem de nutrientes realizada pela vegetação. Tal fato, ocorre em um contínuo, cujas plantas com acesso aos nutrientes das cavidades (com solos muito ricos e mais úmidos) distribuem o P em seu ciclo vegetativo às demais plantas próximas e essas fazem o mesmo, propagando a dezenas de metros de distância os nutrientes acumulados nas cavidades.

Figura 5. Perfis e os seus respectivos ambientes.



**Figura 6** – (A) Ambiente de afloramento calcário associado a Mata Seca associado ao perfil P1 Chernossolo Háplico Ôrtico leptofragmentário (B); (C) Ambiente mal drenado com vegetação hidrófila categorizado como Lagoas intermitentes associado ao perfil P2 Planossolo Háplico Eutrófico vértissólico (D); (E) Ambiente da borda da lagoa com vegetação de Cerrado Campo Limpo associado ao perfil P3 Neossolo Quartzarênicos Ôrtico típico (F); (G) Ambiente em Cerrado Stricto Sensu associado ao perfil P4 Neossolo Quartzarênicos Ôrtico típico (H).

Fotos do autor (2017)

A vegetação de FED, que abrange a área corresponde a P1, é típica de ambientes de afloramentos calcários em climas estacionais. Ela é caracterizada por sua deciduidade no período da seca e presença de espécies como: *Cavanillesia Arborea*, popularmente conhecida como Embarê, *Myracadruon urundeuva* (aroeira), *Tabebuia impetiginosa* (ipê roxo).

No perfil P2, a textura arenosa nos horizontes superficiais e mais fina no horizonte Btg caracteriza a presença de mudança textural abrupta entre os horizontes E e Btg, causada pelo incremento significativo de argila, com relação textural B/A de 5,6 (Tabela 1). Esse perfil foi classificado como Planossolo Háptico Eutrófico vértissólico, sendo em terceiro e quarto nível devido à alta saturação por base e presença de feições de *slickensides* respectivamente. A atividade de argila acima de  $36 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  caracteriza-se o solo Ta, demonstrando ocorrência de minerais expansíveis na composição da argila.

O acúmulo de material fino, em determinado horizonte em relação aos demais, acarreta a presença de diferenciação textural. Processo esse que pode ocorrer diante a depósitos de camadas sedimentares sobre o perfil já existente (SCHAETZL, R, 1998); formação de argila nos horizontes superficiais (VAN BREEMEN N. & BUUMAN P, 2002); e de modo geral pelo princípio o processo de eluviação, em que o há o movimento das partículas da fração argila para camadas subsuperficiais do solo (KÄMPF & CURI, 2015). A ocorrência de diferença textural, aliada a propriedades vérticas, dificulta a percolação da água, possibilitando a ineficiência da drenagem no perfil. Fazendo com que o acúmulo de água em superfície, por representar uma área mais baixa na paisagem, elevação do lençol freático, juntamente com a dificuldade de percolação da água, promove o surgimento das lagoas.

No horizonte A do perfil P2 ocorrem altos valores de MO,  $10,61 \text{ dag.kg}^{-1}$  (Tabela 2) devido a ineficiência da ação dos microrganismos na degradação do material por se caracterizar ambiente anaeróbico na maior parcela do ano. Os teores de  $\text{Fe}^{2+}$  de  $242,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $\text{Mn}^{2+}$   $62,83 \text{ mg.kg}^{-1}$  do P2 (Anexo 1), também destoam dos horizontes subsuperficiais pela presença do ambiente hidromórfico e a complexação dos metais pela ação da MO (SCHWERTMANN, U. 1966).

Estrutura de P2 caracteriza-se em grão simples nos horizontes A e AE, blocos subangulares e prismática no E, e prismática no horizonte Btg com presença de superfícies de fricção (*slickensides*). Isso ocorre devido ao acúmulo de cátions e sílica no meio, imposto pela restrição de drenagem (JACKSON & SHERMAN, 1953).

Tabela 1. Atributos Físicos dos solos em Ambiente Lacustre no Vão do Paraná.

<b>Símbolo Horizontes</b>	<b>Prof. cm</b>	<b>Areia Grossa 0,20 – 0,05 mm</b>	<b>Areia Fina 0,20 – 0,05 mm</b>	<b>Silte 0,05 – 0,002 mm</b>	<b>Argila &lt;0,002 mm</b>	<b>Classe Textural</b>	<b>Cor Úmido</b>	<b>VU*</b>	<b>AF/AT*</b>
<b>Perfil 1 – Afloramento de Calcário - MDI - Chernossolo Háplico Ôrtico leptofragmentário</b>									
A1	0-22	208	286	297	208	Franca	10YR 2/1	0,17	0,58
A2	22-44	231	239	310	219	Franca	10YR 2/1	- 0,07	0,51
A3	44-60+	216	289	278	218	Franco-Argilo-Arenosa	10YR 2/1	-	0,57
<b>Perfil 2 - Lagoa - SXe - Planossolo Háplico Eutrófico vértissólico</b>									
A	0-7	165	236	359	24	Franca	10YR 3/2	1,31	0,58
AE	-13	382	511	74	33	Areia	2.5 YR 4/2	- 0,22	0,57
E	-50	313	308	298	81	Franco-Arenosa	10YR 5/2	- 0,43	0,50
Btg	-60+	122	174	247	457	Argila	10YR 4/2	-	0,58
<b>Perfil 3 - Borda da Lagoa – RQo - Neossolo Quartzarênicosôrtico típico</b>									
A	0-8	485	496	11	8	Areia	10YR 4/1	- 0,21	0,98
C1	-57	422	540	20	19	Areia Franca	10 YR 4/4	- 0,03	0,56
C2	-70+	415	512	68	6	Areia	10YR 5/3	-	0,54
<b>Perfil 4 - Cerrado – RQo - Neossolo Quartzarênicosôrtico típico</b>									
A1	0-14	473	487	31	9	Areia	10YR 3/3	- 0,21	0,51
C1	-48	419	485	81	15	Areia Franca	10 YR 4/3	- 0,03	0,53
C2	-61+	421	475	65	38	Areia Franca	10YR 4/6	-	0,53

\*VU – Valor de Uniformidade, Relação Areia Fina/Areia

No horizonte Btg de P2, a 60 cm de profundidade, há a presença abundante de mosqueados de tamanho grande e contraste difuso, juntamente com o afloramento de água. A ocorrência dessas características remete à existência de ambiente mal drenado com a presença de  $\text{Fe}^{2+}$  dissolvido na solução do solo (RESENDE, 2007).

A oscilação do lençol freático, controlada pela precipitação regional, possibilita o processo de oxidorredução que ocorre em dois momentos: ambiente oxidante com rebaixamento do lençol e redutor com a afloramento do lençol. No momento em que o lençol está baixo, o  $\text{Fe}^{2+}$  se oxida em  $\text{Fe}^{3+}$  em pequenos núcleos caracterizando o mosqueado no perfil (KÄMPF & CURI, 2015). A diminuição da precipitação na região juntamente com o aumento de poços artesianos e a degradação dos cursos de água são os possíveis motivos do rebaixamento do nível do lençol freático. Desse modo, as lagoas vêm presenciando eventos mais curtos de cheia com o passar dos anos, acarretando aumento o período oxidante.

O ambiente do perfil P3 apresenta vegetação aberta típica de campo sujo e se localiza entre a vegetação de cerrado típico (P4) e as áreas baixa da paisagem (P2). As características químicas e físicas do solo se assemelham às do P4 (Tabela 1 e 2), existindo pouca diferença entre ambos os perfis. No horizonte A, a maior concentração de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , proporcionada pelas maiores CTC proveniente da MO, permite um valor da soma de base mais elevado se comparado aos horizontes subjacentes, tendo assim saturação por base (V%) de 44,2% (Tabela 2). Destaca-se em P4 e P3 os horizontes C1 e C2 com valor de saturação de alumínio superiores a 50%. Em solos do Cerrado é comum a baixa fertilidade e alta saturação por alumínio, condicionando espécies específicas para o ambiente.

Estudos morfométricos de CARVALHO & ZUCHI(2009) na região do Vão Paranã, em uma área amostral na mesma região do presente trabalho, os autores demonstram que os materiais que formam o manto pedogenético são provenientes de depósitos aluvionares, cobertura detrito-laterítica e carbonática, resultantes da transformação do arenito da Formação do Urucuia. O solo descrito na borda da lagoa apresentou a mesma classificação encontrada no trabalho de CARVALHO & ZUCHI, 2009, Neossolos Quartzarênicos Ôrtico Típicos. No ambiente de P4, a fitofisionomia característica é de Cerrado *stricto sensu* com presença de espécies de ambientes de Floresta Decídua (Figura 6-G).

Tabela 2. Atributos Químicos em sequência em Ambiente Lacustre Vão do Paraná

Símbolo	Prof.	pH H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	Al <sup>3+</sup>	m	MO	SB*	T*	V*	CaCO <sub>3</sub>
Horizontes	cm		-----		cmolc.kg <sup>-1</sup>	-----	mg.kg <sup>-1</sup>	cmolc.kg <sup>-1</sup>	%	dag.kg <sup>-1</sup>	cmolc.kg <sup>-1</sup>	cmolc.kg <sup>-1</sup>	%	g.kg <sup>-1</sup>
Perfil 1 - Afloramento Calcário – MDI - Chernossolo Háplico Ôrtico leptofragmentário														
A1	0-22	7,13	0,30	0,03	18,54	7,73	615,59	0,00	0	12,43	26,59	27,19	97,8	64,09
A2	-44	7,30	0,17	0,02	15,14	7,62	709,64	0,00	0	8,73	22,96	23,26	98,7	45,84
A3	-60	7,37	0,14	0,03	13,84	7,19	684,36	0,00	0	6,38	21,21	21,51	98,6	47,11
Perfil 2 - Lagoa - SXe - Planossolo Háplico Eutrófico vértissólico														
A	0-7	5,09	0,55	0	3,09	0,61	7,61	0,29	4,5	10,61	4,06	11,36	35,7	-
AE	-13	4,9	0,08	0	0,95	0,17	1,43	0,15	13,4	1,88	1,23	3,43	35,9	-
E	-50	5,73	0,11	0	1,9	0,46	0,25	0,00	0	0,27	2,49	2,79	89,2	-
Btg	-60+	5,98	0,32	0,02	11,39	3,17	0,18	0,00	0	0,27	14,92	16,52	90,3	-
Perfil 3 - Borda da Lagoa - RQo - Neossolo Quartzarênicosôrtico típico														
A	0-8	5,35	0,06	0	0,62	0,17	2,30	0,00	0	0,67	0,87	1,97	44,2	-
C1	-57	4,72	0,01	0	0,16	0,03	0,88	0,32	70,1	0,4	0,2	1,1	18,2	-
C2	-70+	4,44	0,00	0	0,08	0,01	0,42	0,43	86,8	0,27	0,1	1,2	8,3	-
Perfil 4 - Cerrado - RQo -Neossolo Quartzarênicosôrtico típico														
A1	0-14	5,21	0,03	0	0,84	0,29	2,99	0,06	7,1	0,94	1,17	2,77	42,2	-
C1	-48	4,47	0,00	0	0,08	0,03	2,54	0,53	87,2	0,81	0,11	2,11	5,2	-
C2	-61+	4,35	0,00	0	0,1	0,02	2,99	0,67	88,7	0,4	0,12	1,72	7	-

\*SB - Soma de Base; MO – Matéria Orgânica; V - Índice de Saturação por Base; T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0.

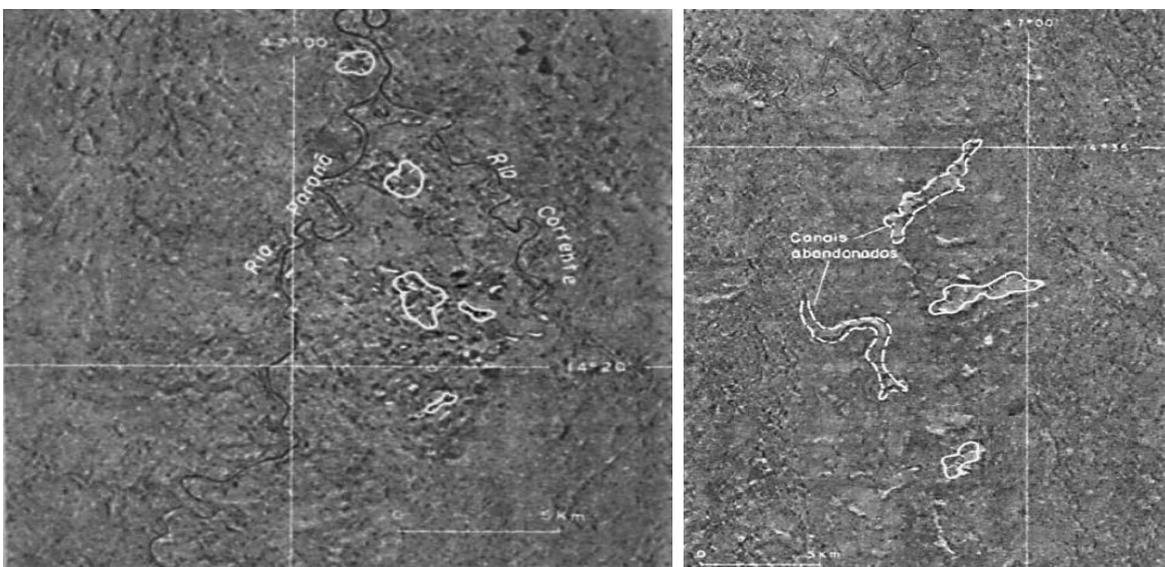
Poucos trabalhos tratam da formação dos ambientes lacustres do Vão do Paranã (LATUBRESSE *et al*, 2005). A hipótese clássica de superfícies de aplainamento parece plausível para essa situação (KING, 1956), além da possibilidade da influência de processos cársticos associados aos calcários do Grupo Bambuí presentes na região.

Desde modo, o Brasil Central passou por diversos ciclos erosivos, sendo o maior deles a dissecação das planícies sul-americanas, em que as ações dos processos morfoclimáticos, de aplainamento interplanálticas ocorreram sobre rochas do embasamento e do Grupo Bambuí (BRAUN, 1971, RADAM 1982). Remanescentes desses processos são encontrados na paisagem como superfícies a semelhança do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba subdivisão do Planalto Central Goiano, descritas por MOTTA (2002).

No Vão do Paranã nas cotas inferiores a planície sul- americana se encontra superfície Velhas, em que a drenagem se instalou sobre ambiente aplainado adquirindo características meandantes com baixa velocidade e pouca força erosiva. Com a mudança no relevo e o encaixamento da drenagem na litologia, os meandros foram abandonados e as lagoas se formando. Tal processo pode ser observado na drenagem do rio Araguaia, na mesma bacia do rio Paranã (FRANÇA, A.M.S, 2002, MORAIS, R.P *et al*. 2005).

No médio curso do rio Paranã, ao norte da cidade de Flores de Goiás, são encontradas áreas inundáveis resultando na cobertura de material aluvial do entalhamento pela drenagem (RADAM, 1982). Próximo as áreas inundáveis, também é possível observar diversos canais abandonados (Figura 7).

Figura 6. Áreas inundáveis e canais abandonados no Vão do Paranã associados ao rio Corrente e rio Paranã.



Fonte: RADAM FOLHA SD 23 v29 (1982).

Em relação a descontinuidade litológica, uma das características mais emblemáticas que indica tal processo é a presença de linhas de pedras entre os horizontes (CRUZ L.O.M., 2006; TAYLOR & EGGLETON. 2001). Entretanto, essas não foram encontradas em campo. Por outro lado, a presença de matéria proveniente do colúvio ocasionaria uma variação errática de granulometria, sendo possível observar pelo valor de uniformidade (VU), na transição entre os horizontes A e AE no perfil P2 (Tabela 1) com valor superior a 0,6 indicando existência de descontinuidade litológica entre os horizontes superficiais.

A presença da desuniformidade reforçaria a hipótese de um processo de colmatação, cujos sedimentos estão sendo depositados nas lagoas, deixando-as arredondadas, e perdendo assim o formato inicial de “ferradura” herdado dos meandros abandonados. O processo de colmatação seria a partir do material superficial circundante à lagoa, ou seja, solos arenosos como os perfis P3 e P4. A distinção entre os horizontes A do E, do perfil P2 pode estar relacionado ao processo eólico que apresenta maior grau de seleção das frações que serão transportadas, gerando a descontinuidade.

SCHAETZL (1998) destaca a necessidade de realização de outros parâmetros para afirmar a existência de descontinuidade litológica. Estudos baseados em mineralogia (BORTOLUZZI *et al*, 2008) e nas relações granulométricas podem oferecer melhor segurança. A razão entre areia fina e total também pode ser utilizada com parâmetro, sendo que, a existência de uniformidade seria a partir de elevada amplitude dos resultados. Como pode ser observado na (Tabela 1) os valores não oscilaram muito, tendo valores aproximados aos encontrados por MAFRA *et al* (2001) e BORTOLUZZI *et al* (2008), indicando a não existência de descontinuidade nos horizontes superficiais.

### **3.2. Teor Total**

A análise dos teores químicos totais da TFSA (Tabela 3) possibilita a avaliação quantitativa da composição química do solo (ABREU JUNIOR *et al.*, 2009). Em todos os perfis se destaca elevado teor de SiO<sub>2</sub>, variando de 77% a 90% da composição da química total da TFSA (Tabela 3). O perfil P1 apresenta as maiores reservas de nutrientes, com elevado teor de CaO e MgO (Tabela 3), e relação média Ca/Mg de 2,3, indicando possivelmente presença de calcário dolomítico. Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são muito elevados, acima de 10% (Tabela 3) o que corrobora com a hipótese de deposição biogênica.

**Tabela 3.** Teores totais da TFSA dos horizontes de solos da região do Vão do Paraná.

Elemento (g.kg <sup>-1</sup> )	P1			P2				P3			P4		
	A1	A2	A3	A	AE	E	Btg	A	C1	C2	A	C1	C2
SiO <sub>2</sub>	814,5	845,2	840,4	834,1	967,3	985,3	773,6	988,6	986,9	979,8	900,0	966,0	900,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57,5	56,1	59,6	45,3	22,5	10,5	122,9	7,9	9,4	15,1	15,3	22,8	26,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,2	33,7	29,5	15,0	2,6	1,9	66,8	1,2	1,1	1,6	14,1	8,0	13,2
CaO	52,6	32,4	33,6	2,0	0,8	0,0	3,2	0,7	0,5	0,5	0,9	0,3	0,6
MgO	21,8	15,0	14,3	1,4	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,9	12,1	10,7	0,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3
K <sub>2</sub> O	2,9	2,7	3,0	2,3	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5	0,4
MnO	2,8	2,8	2,5	0,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
TiO <sub>2</sub>	4,8	4,5	4,7	5,7	4,6	1,7	7,7	1,3	1,3	1,9	1,5	1,9	2,0
ZrO <sub>2</sub>	0,3	0,21	0,3	0,26	0,3	0,1	0,22	0,2	0,2	0,3	0,13	0,2	0,14

Fonte: Elaboração Própria

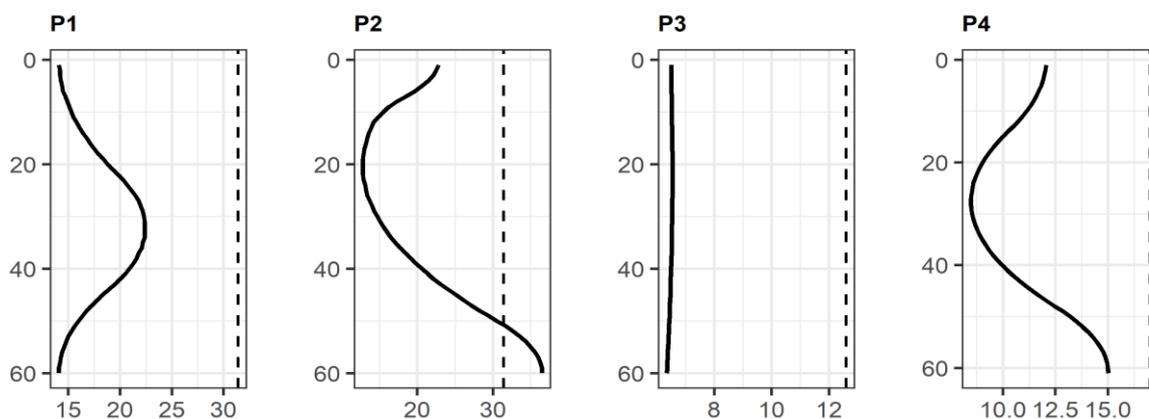
No perfil P2, situado na lagoa, ocorre aumento expressivo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em profundidade, chegando 122,9 e 66,8  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3). O  $\text{Ca}^{2+}$  apresentou teores elevados próximo aos valores encontrados em P1 (Tabela 2), entretanto não teve o mesmo comportamento, quando observamos o teor químico total, teores semelhantes ao encontrado em P1 (Tabela 3). O  $\text{K}_2\text{O}$  segue o mesmo comportamento com aumento em profundidade, porém apresentando comportamento oposto aos valores observados na (Tabela 2). Os teores elevados de Potássio são relacionados principalmente a materiais pelíticos, relacionados filossilicatos do grupo da mica. Deste modo, o K ocorre principalmente entre as placas dos tetraedros de silício, no espaço basal, possibilitando em certo grau a expansividade principalmente com existência de interestratificações como ilita-vermeculita, ilita-montmorilonita entre outros. Essa ocorrência de argila expansiva no perfil P2 (Figura 10), juntamente com o processo de umedecimento e secagem do solo, promove a formação dos *slickensides*, como identificado na morfologia do perfil (Anexo 2)

Os perfis P3 e P4 apresentam teores similares de  $\text{SiO}_2$ , mantendo comportamento observado nos teores disponíveis, baixos teores de bases (Tabela 2). Destacou-se o elevado teor de  $\text{SiO}_2$ , porém são valores esperados para ordem dos Neossolos Quartzarenicos. Teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apresentaram pouca variação em profundidade (Tabela 3), os demais óxidos como  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MnO}$  apresentam valores inferiores a 1%, demonstrando a baixa reserva nutricional dos solos originados de material previamente intemperizado.

A possível ocorrência de descontinuidade litológica em P2 é corroborada por este se localizar em área embaciada e influenciada pelo material proveniente dos P3 e P4. Trabalhos têm sido realizados utilizando marcadores geoquímicos com objetivo de averiguar a presença de descontinuidade litológica e sedimentação de material alóctone (MARSHALL, 1940; MOREIRA e OLIVEIRA, 2008, SAUER, D 2007). O uso dos marcadores geoquímicos está relacionado ao fato que o depósito residual tem sua gênese do intemperismo diferencial e lixiviação, sendo que esses processos propícios a remoção de elementos mais solúveis. Já os elementos relativamente imóveis como Alumínio, Zircônio e Titânio permanecem no solo (BIRKELAND, 1984, TAYLOR & EGGLETON, 2001; MOREIRA & OLIVEIRA, 2008). Os elementos Zr e Ti são associados a grande estabilidade geoquímica, apresentando maior imobilidade química durante o intemperismo, associados ao Zircão ( $\text{ZrSiO}_4$ ), e Rutilo ( $\text{TiO}_2$ ). Esses elementos podem ser utilizados para averiguar material alóctone.

Na Figura 8, a relação entre Zr/Ti em todos os perfis, com exceção do P2, horizonte Btg, onde ocorreu variação de 100% na relação Zr/Ti entre os demais horizontes.

Figura 7 - Comportamento da relação Zr/Ti com o aumento da profundidade em cm de cada solo . A linha pontilhada representa o aumento de 100% do valor mínimo evidenciado. Valores obtidos a partir de FRX da TFSA.



Fonte: Elaboração Própria

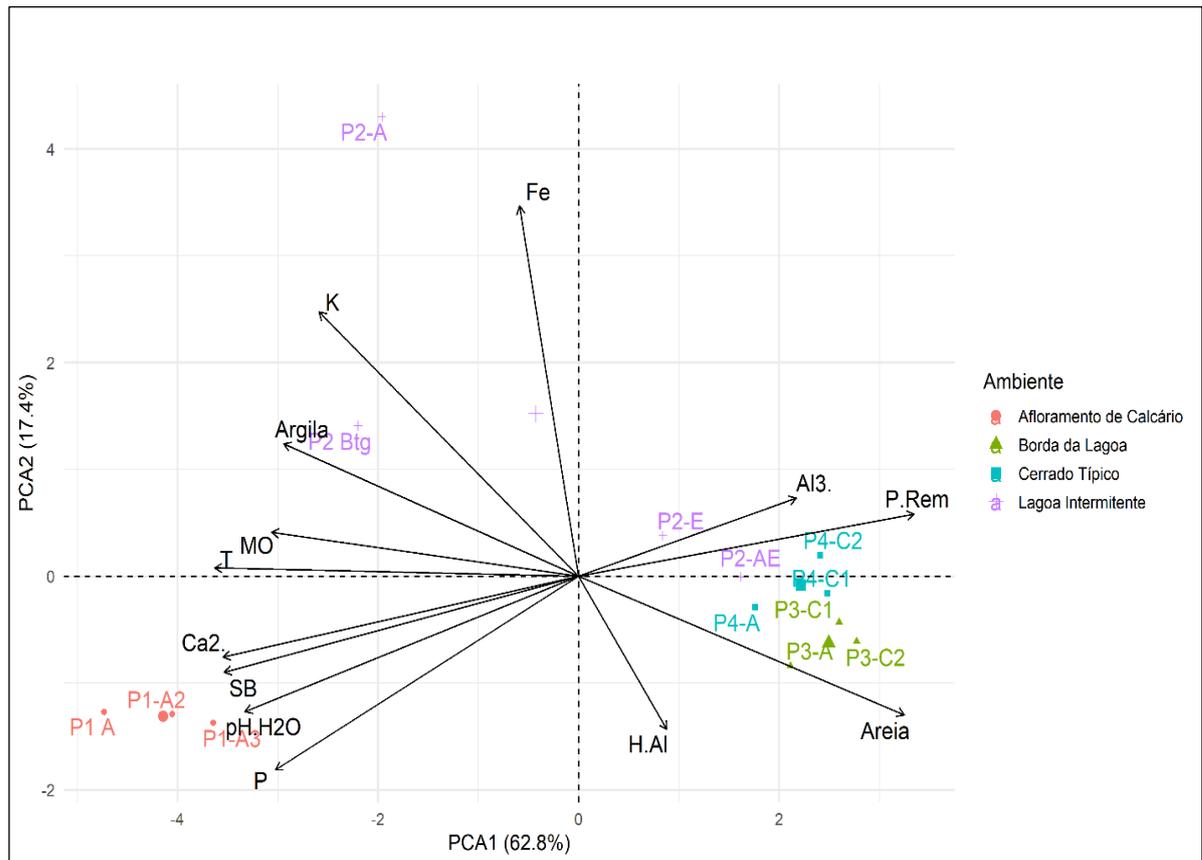
Importante salientar que existem diversas abordagens para considerar a relação entre Zr e Ti (MAYNARD, 1992; TSAI & CHEN, 2000; COOPER *et al.*, 2002). Em estudos de paleossolos, Maynard (1992) propõe que para a provável presença de material alóctone é necessário desvio de 100% na relação Zr/Ti entre o solo atual e material de origem. Já a WRB (2022), atribui a relação a fração areia para descontinuidade de material. Para buscar formas menos subjetivas de interpretações dos dados da relação Zr/Ti trabalhos como CRUZ (2006) e FILHO (2012) utilizou-se dos coeficientes de variação a partir de diversas amostras coletadas buscando analisar a variabilidade dos dados no mesmo perfil.

### 3.3. Análises exploratórias e agrupamento de dados.

Para interpretação da distribuição dos atributos físicos e químicos dos solos foi realizada Análise de Componentes Principais (PCA). A técnica tem como principal objetivo a redução da quantidade de dados tendo o mínimo de explicações perdidas (HONGYU, K, 2016).

A PCA apresenta alto valor no eixo 1 de 62,8% e 17,4% no Eixo 2, totalizando 80,2% da covariância dos dados. Destaca-se que todos os horizontes do P1 se relacionaram com vetores das variáveis  $\text{Ca}^{2+}$ , SB, P, V e CTC, formando um extremo eutrófico associado ao calcário do Grupo Bambuí, cuja fitofisionomia correspondente é a Floresta Estacional Decídua. Podemos observar que eixos vetores de SB e do  $\text{Ca}^{2+}$  estão quase se sobrepondo, demonstrando que o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  proveniente do material de origem está saturando a soma de base dos ambientes principalmente no P2.

Figura 8 - Análise de Componentes Principais (PCA) para solos do Vão do Paranã - GO

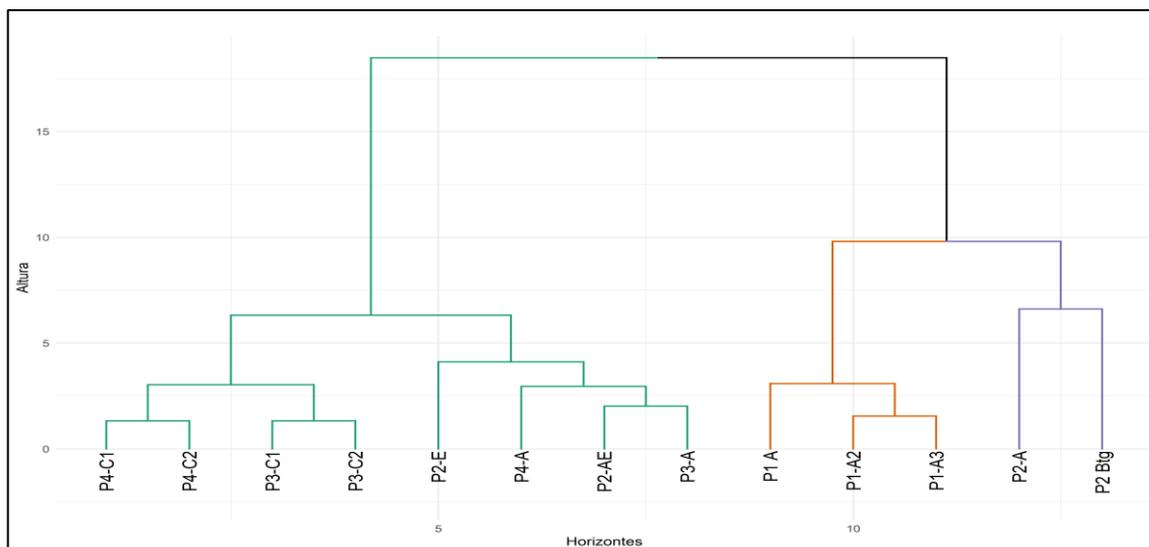


Fonte: Dados coletados em campo (2017).

Do lado oposto temos um extremo distrófico com a presença de P3 e P4, relacionados às granulometrias Areia Grossa e Areia Fina,  $Al^{3+}$  e P-rem, associados à coberturas arenosas com a presença de Cerrado *stricto sensu*. Os horizontes do P2, diferente dos demais, se dispersou na PCA devido aos processos pedogenéticos que proporcionam grandes distinções química e física entre seus horizontes. Assim, o horizonte Btg correlacionando-se com a argila, o AE e E com as areias e P-rem, o horizonte superficial A com Fe.

Na análise multivariada de aprendizado de máquinas não supervisionado, buscou-se a partir da base de dados, a formação de cluster entre os elementos (Figura 9). O valor do *hopking statistic* foi de 0.69, demonstrando que os dados apresentam uma tendência de formar agrupamentos e que os clusters formados são significativos (LAWSON, R G; JURIS, P C, 1990). Na Figura 9 é possível observar o *cluster* hierárquico agrupou os dados em 3 grupos distintos.

Figura 9 Cluster hierárquico utilizando atributos edáficos no agrupamento dos horizontes dos perfis de solo do Vão do Paraná.



Organização: ROSA, G. P. (2019).

Os grupos formados foram semelhantes aos sinalizados no PCA sendo primeiro sinalizado em verde indicando horizonte do P3, P4 e horizontes E e AE do P2. O segundo grupo sinalizado cor laranja é composto por horizontes do P1, localizado sobre afloramento do Grupo Bambuí. Por fim, temos o terceiro grupo com a cor roxa composto com horizonte A e Btg do P2. Podemos observar que que horizontes superficiais A e Btg do perfil 2 apresentam semelhanças aos horizontes localizados no afloramento, corroborando com a hipótese da influência do calcário na gênese do Btg.

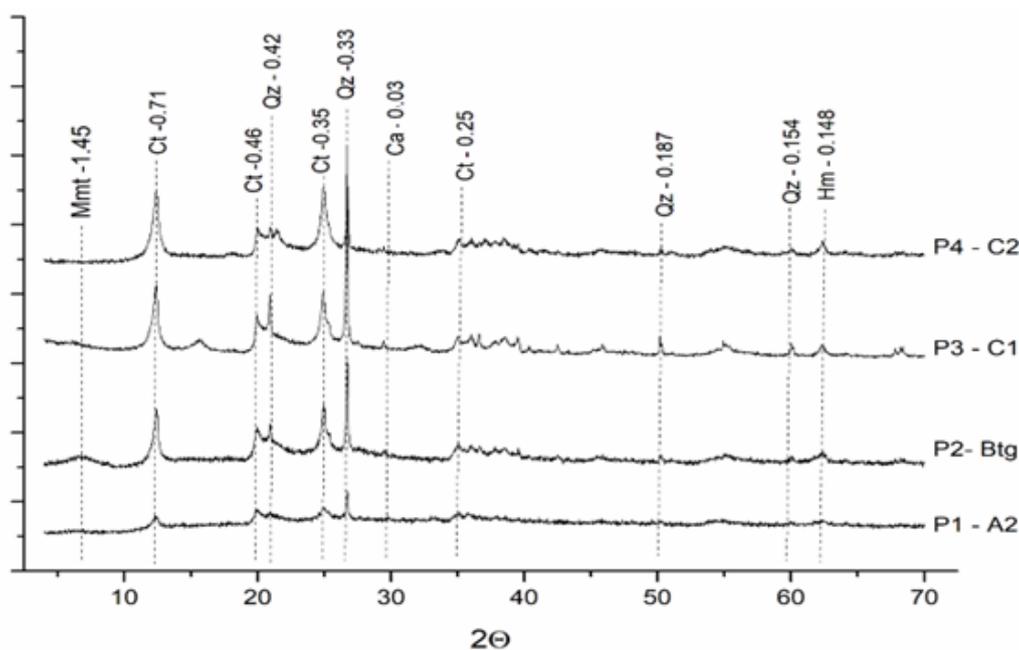
### 3.4. Análises Mineralógicas

A neoformação de minerais secundários no solo, a partir do fluxo de água e a perda de silício no meio proporciona entender a gênese dos solos e seu grau de desenvolvimento, juntamente com a evolução da paisagem. (KÄMPF & CURI, 2015; MELO V. D. F & ALLEONI L R F, 2019).

Os difratogramas nos diversos horizontes apresentaram os minerais de Caulinita (Ct), Quartzo (Qz), Hematita (Hm). Não foi encontrado Gibbista em nenhum dos horizontes analisados, demonstrando assim a presença significativa de sílica no ambiente, o que impossibilita a sua cristalização. A inibição de formação de Gibbsita pode estar correlacionada com deficiência de drenagem em condições pretéritas ou até mesmo atuais (KER e RESENDE, 1990), condição está comum na área de estudo.

No afloramento de calcário, associado ao P1, foi identificado os principais picos dos minerais de Caulinita 7.1 Å e a 3.5 Å, Quartzo 3.33 Å, Calcita 3.03 e Hematita 0.148 (Figura 10). A presença de Caulinita, pode estar associado ao ambiente montanhoso que pode ocasionar a perda sílica pela lixiviação.

Figura 10 Difratoograma da argila natural dos perfis coletados no Vão do Paranã. Valores em d indicados em nanômetro (Nm). Ct: Caulinita; Qz: Quartzo; Mmt: Montmorilonita; Hm: Hematita; Ca: Calcita.

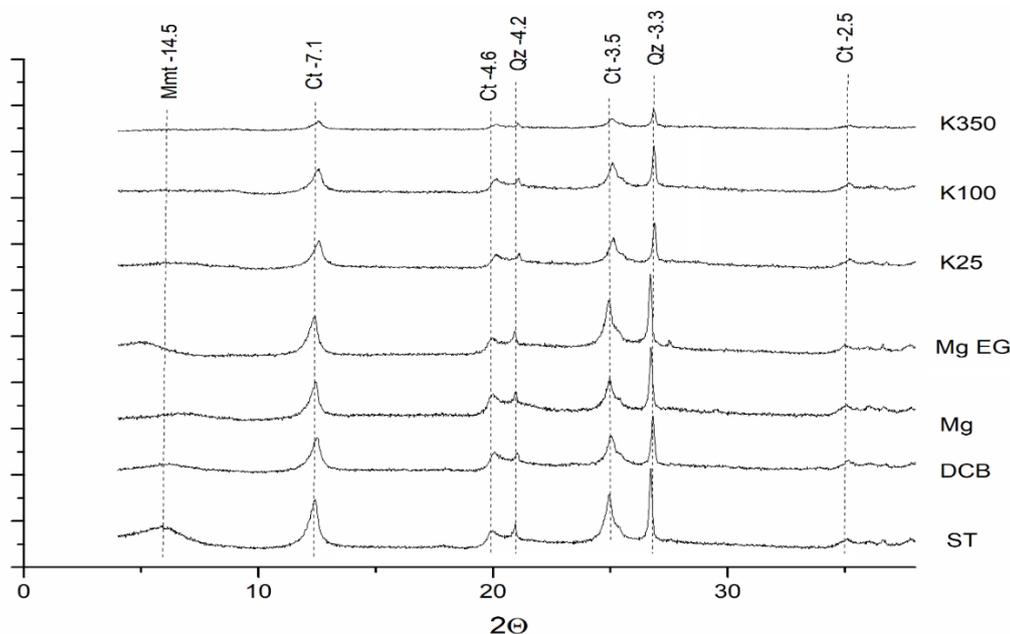


Organização: ROSA, G. P. (2019).

Nos Neossolos Quartzarênicos, P3 e P4, a análise foi realizada em horizontes subsuperficiais C1 e C2 respectivamente. No P3, ambiente borda da lagoa, os minerais se apresentaram bem cristalizados, principalmente a caulinita, observado pela intensidade e baixa largura a meia altura (Figura 10). O elevado teor de areia fina pode estar liberando sílica para o meio, o que possibilita a ocorrência de Caulinita, e impossibilita a formação de Gibbsita.

No Lagoa, ambiente de ocorrência do perfil P2, em área baixa da paisagem, e portanto, sujeita a inundações periódicas. Na (Figura 10) é possível observar a presença dos minerais Caulinita com maior pico entre os horizontes, sugerindo maior cristalinidade desse mineral. Também há ocorrência de Hematita (1,48 Å), quartzo (4.2 Å e 3.3 Å) e em pequena expressão Calcita (3.03). A realização dos tratamentos com DCB, saturação por magnésio com etileno glicol e por magnésio em diferentes temperaturas, possibilitou identificar a ocorrência de minerais 2:1, como a Montmorilonita (Figura 11).

Figura 11 Difratoograma da fração argila do perfil P2 horizonte Btg, com pré-tratamentos. Valores em d indicados em angstrom (Å). Ct: Caulinita; Qz: Quartzo, Mmt: Montmorilonita Hm: Hematita, Ca: Calcita; feldspato K. Sem tratamento (ST); Desferrificada (DCB), Desferrificada e saturada por magnésio (Mg); Desferrificada, saturada por magnésio e etileno glicol (Mg EG); Desferrificada e saturada por potássio a temperatura ambiente (K25); posteriormente aquecida a 100 °C (K100); e a 350 °C (K350).



Organização: ROSA, G. P. (2019).

Em ambientes hidromórficos, conservadores da paisagem, pode favorecer o acúmulo de Caulinita com maior cristalinidade, sendo as de menor destruídas pela ferrólise (BRINKMAN, 1970), preservando-as que apresentam maior cristalinidade. A ferrólise, que consiste num conjunto de reações em que solo é submetido a condições de redução e oxidação, sendo o  $\text{Fe}^{2+}$  oxida a  $\text{Fe}^{3+}$  liberando  $\text{H}^+$  no sistema destruindo os filossilicatos mal cristalizados. (KÄMPF & CURI, 2015).

No horizonte Btg do P2 apresenta estrutura prismática e superfícies de fricção (*slickensides*) indicativos a presença de argilas expansivas 2:1, com alta atividade, como observado pela ocorrência de pico em  $d = 14.4 \text{ \AA}$  (montmorilonita). Assim, o deslocamento de  $14.4 \text{ \AA}$  na amostra sem tratamento (SE) para  $17,8 \text{ \AA}$  com tratamento com saturação por magnésio e etileno glicol (MG EG), juntamente com o colapso com aquecimento a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , corrobora para a identificação do mineral montmorilonita no solo (Figura 5).

A origem de mica na fração areia e, ilita na fração argila, na mineralogia dos solos, é em grande parte formada pelo próprio material de origem, principalmente de materiais pelíticos. Sua degradação possibilita a liberação de  $\text{K}^+$  no solo, possível de ser observado pelos teores encontrados em P1 e P2 (Tabela 1 e 3).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gênese dos solos nas lagoas intermitentes, se caracteriza-se por processos poligenéticos. No horizonte Btg os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e os teores totais de CaO e MgO notamos valores intermediários entre os perfis P1 e P3 e P4. Tais distinções nos teores entre os perfis é corroborado pelas análises exploratória, PCA e clusters que demonstram uma correlação do horizonte Btg em relação aos horizontes do P1, que não é evidenciado nos demais horizontes. Desde modo, não é possível eliminar a influência do calcário do bambuí, que ocorrem em pequenos relevos residuais na paisagem aplainada, na gênese dos horizontes que compõem as lagoas intermitentes.

Baseado nos valores de uniformidade (VU), nos dados químicos, físicos, morfológicos, mineralógicos e na relação entre os elementos Zr e Ti, os horizontes superficiais da lagoa intermitente tem sua gênese in locu sem influência de material alóctone. Entretanto, nos horizontes subsuperficiais, principalmente no Btg, há possível influência de material proveniente de outra superfície.

A presença de elevados teores de fósforo no solo de Afloramento de Calcário, promove incerteza sobre a sua origem. A presença de fósforitos no grupo bambuí, não é algo amplamente conhecido e mapeado, entretanto não observou a sua ocorrência na área de estudo. Assim, os elevados teores possivelmente esteja relacionado a influência de deposição biogênica, principalmente de quirópteros. Os valores evidenciados no P1, por FRX e mehlich-1, não apresentam variabilidade ao longo do perfil, normalmente encontrado com solos com depósitos biogênicos. Entretanto, os teores são muito elevados, em comparação aos demais solos estudos na região, evidenciados em outros trabalhos. Assim, há necessidade de realizar outras análises para que seja possível expandir o conhecimento sobre a proveniência do fósforo no ambiente.

A ocorrência de lagoas no Vão do Paranã está associada não somente à oscilação do lençol freático mas também à presença dos Planossolos que dificultam a infiltração de água gerando um lençol suspenso.

#### 4. REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C. H., MARTIN-NETO, L., MILORI, D., SIMÕES, M., & SILVA, W. (2009). Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: MELO, VF; ALLEONI, LRF. Química e mineralogia do solo. Parte II. Viçosa 2009

ANDRADE, Patanjaly Barbosa de. Solos e vegetação associados a cavidades naturais subterrâneas no geossistema ferruginoso da Serra dos Carajás – Pará. 2019. 211 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

BARREIRA, C. C. M. A. **Vão do Paranã: a estruturação de uma região**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, Universidade Federal de Goiás, 2002.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico**. Revista Ra'E Ga, n.8 Ed. UFPR, Curitiba, 141-152p. 2004. <https://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3389>

BIRKELAND, P.W. Soils and Geomorphology. New York, 1984. 372p

BREEMEN, N., & BUURMAN, P. **Soil formation**. Springer Science & Business Media. 2002.

BORTOLUZZI, E. C *et al.* **Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32.3: 997-1007p. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300009>

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto **RADAMBRASIL. Folha SD. 23** Brasília: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 660p. 1982.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA,2015.

BRINKMAN, R. **Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process**. Geoderma, 3.3: 199-206p. 1970. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(70\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(70)90019-4)

BRAUN, O. P. G. **Contribuição à geomorfologia do Brasil Central**. Revista Brasileira de Geografia, v. 32, n. 3, 3-39p, 1971.

CARVALHO, T. M.; ZUCHI, M. R. **Morfometria e caracterização do meio físico de ambientes lacustres no vão do Paranã-Goiás, Brasil**. Uma primeira aproximação. Terra Nueva Etapa, v. 25, n. 38, 2009.

CARVALHO, F. A. **Dinâmica da vegetação arbórea de uma floresta estacional decidual sobre afloramentos calcários no Brasil central**. 2009. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2009.

CORREIA, M. M., et al. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27.2: 311-324, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200011>

EMBRAPA – Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed., Brasília: EMBRAPA Solos, 356p. 2018.

FELFILI, J. M; *et al.* **Recuperação de matas secas e vegetações associadas no Vale do Paranã, Goiás**. Brasília: Universidade Federal de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 32p. 2007.

FRANÇA, A. M. S. **Ordenamento geomorfológico dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2002.

FURLEY, P. A.; NEWY, W. W. **Variations in plant communities with topography over tropical limestone soils**. Journal of Biogeography, 1-15p, 1979. <https://doi.org/10.2307/3038149>

HERMUCHE, P. M. **Modelagem da paisagem da Floresta Estacional Decidual no Vão do Paranã, Goiás**. Tese (Doutorado) – Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L, M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. **Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**. E&S Engineering and Science, v. 5, n. 1, 83-90p, 2016. <https://doi.org/10.18607/ES201653398>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Zoneamento Geoambiental e Agroecológico do Estado de Goiás: região nordeste**. Moreira, H. L. (coord.). Rio de Janeiro: IBGE/Divisão de Geociências do Centro-Oeste, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. 430p. Rio de Janeiro: IBGE. 2015.

JACKSON, M. L., & Sherman, G. D. **Chemical weathering of minerals in soils**. In *Advances in agronomy* Academic Press. 219-318p 1953. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60231-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60231-X)

KÄMPF, N. CURI, N. **Conceito de solo e sua evolução histórica**. In: KER, J. C. et al. (editores). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa, MG: SBCS, 2015.

KARKANAS, Panagiotis. **Guano. Archaeological soil and sediment micromorphology**, p. 83-89, 2017. <https://doi.org/10.1002/9781118941065.ch8>

KER, J. C. & RESENDE. M. **Chemical and mineralogical characterization of some Brazilian subtropical brown soils**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14(2), 215-225p. 1990.

KLEEREKOPER, H. **Introdução aos estudos da limnologia**. Ministro da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Animal, Divisão de Caça e Pesca. Rio de Janeiro, 329p. 1994.

KLINK, H. J. **Geocologia e regionalização natural: bases para a pesquisa ambiental**. São Paulo: IGEO – USP, 1981.

LATRUBESSE, E. M & CARVALHO, T. M. **Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Série Geologia e Mineração, 2ed**. Goiânia, Brasil, Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás. 2006

LATRUBESSE, E M, CARVALHO, T M, STEVAUX, J C. **Mapa Geomorfológico de Goiás e Distrito Federal**. Relatório Final. Goiânia: SIC/SGM, 81p, 2005.

LAWSON, R. G.; JURIS, P. C. **New index for clustering tendency and its application to chemical problems**. *Journal of chemical information and computer sciences*, v. 30, n. 1, 36-41p, 1990. <https://doi.org/10.1021/ci00065a010>

LE, S., JOSSE, J. & HUSSON, F. **FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis**. *Journal of Statistical Software*. 1-18 p. 2008. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

LYNCH, L. S. **Gênese e geoquímica de solos em ambiente cárstico no cerrado da região de Planaltina de Goiás**. Tese (Doutorado), Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de Viçosa. Viçosa, 2009.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. 1958. **Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate**. In: NATIONAL

CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7, Washington. Proceedings... New York, 317-327. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1958.0070122>

MOREIRA, M. L. O., MORETON, L. C., ARAÚJO, V. A. D., LACERDA FILHO, J. V. D., & COSTA, H. F. D. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. 2008.

MARSHALL, C. E. A petrographic method for the study of soil formation processes. *Soil Science Society of America Journal*. 1941. <https://doi.org/10.2136/sssaj1941.036159950005000C0019x>

MUNSELL, A. **Soil, color charts, revised edition**. MacBeth Division of Kollmorgan Instruments Corporation, New York. 1994.

MAFRA, A. L., et al. **Pedogênese de uma sequência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP)**. Revista brasileira de ciência do solo, 25.2: 355-369. 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200012>

MOTTA, P. E. F., et al. **Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 37.6: 869-878. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600017>

MORAIS, R. P., et al. **Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia**. 2005.

MONTEIRO, C.F. **Fosforitos do Grupo Bambuí na região de Campos Belos (GO) / Arraias (TO), na borda oeste do Cráton São Francisco**. Brasília, 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Prospecção e Geologia Econômica). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

MOREIRA, H. L; OLIVEIRA, V. A de. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008, 32.4: 1683-1690. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400033>

NOVAIS, R.F. SMYTH, T.J. NUNES F.N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 471 – 550. 2007.

PIVELLO, V. R. **Manejo de Fragmentos de Cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade**. IN: Cerrado. Brasília: MMA/SBF. 2005

KING, L C. **A Geomorphological Comparison Between Eastern Brazil and Africa (Central and Southern)**. Quarterly Journal of the Geological Society, 1956, 112.1-4: 445-474. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1956.112.01-04.22>

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: base para distinção de ambientes.** rev. Lavras: Editora UFLA, 2007.

RESENDE, M. *et al.* **Da rocha ao solo: enfoque ambiental.** Lavras: UFLA, 2019.

RIBEIRO, J.F; WALTER, B.M.T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado.** In: Sano, S.M.2008

RUHE, R V. **Geomorphic surfaces and the nature of soils.** Soil science, 1956, 82.6: 441-456. <https://doi.org/10.1097/00010694-195612000-00001>

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 7.ed. Viçosa: SBCS, 2015. 92p.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. **Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review.** Conservation biology, v. 5, n. 1, 18-32p, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>

SAUER, D; SCHELLMANN, G; STAHR, K. A soil chronosequence in the semi-arid environment of Patagonia (Argentina). **Catena**, v. 71, n. 3, p. 382-393, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.010>

SCARIOT, A.; SEVILHA, A. C. **Biodiversidade, estrutura e conservação da estacional decidual. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.** Brasília, MMA, p. 121-140, 2005.

SCHAETZL, R. **Lithologic discontinuities in some soils on drumlins theory, detection, and application.** Soil Sci., 163:570-590, 1998. <https://doi.org/10.1097/00010694-199807000-00006>

SCHWERTMANN, U. **Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxide.** Nature, 212.5062: 645-646p.1966. <https://doi.org/10.1038/212645b0>

TAYLOR, G & EGGLETON, R.A. **Regolith geology and geomorphology.** Chichester, John Wiley, 20. 375p.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos.** 3. Ed. Embrapa Solos, Brasília, BR, 2017.



## ANEXOS

### Anexo 1 – Fichas de descrição dos Perfil 1



**Data:** 15/08/2017

**CLASSIFICAÇÃO SIBCS** – Chernossolos Rêndzicos Líticos fragmentários, textura média-argilosa

**Unidade de mapeamento** – MDI

**Localização:** Alvorada do Norte (GO) – 23L UTM 0511699 m E / 8400365 m S

**Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil**

**Elevação** – 491m.

**Litologia** – Grupo Bambuí

**Período** – Paleozoico, Grupo Bambuí.

**Material originário** – Material de alteração de rochas pelíticas do grupo Bambuí.

**Pedregosidade** – Extremamente Pedregosa

**Rochosidade** – Extremamente Rochosa

**Relevo local** - Montanhoso

**Relevo regional** - Plano

**Erosão** – Não Aparente

**Drenagem** – Bem drenado

**Vegetação primária** – Mata Seca

**Uso atual** - Regeneração

**Clima** – Aw, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por** – Guilherme Resende Corrêa



#### Descrição Morfológica:

**A1** 0-22 cm; 10YR 2/1; franca; estrutura moderada pequena média grumosa; transição entre horizontes gradual e plana; consistência de solo seco é macia e solo úmido é muito friável; solo molhado é plástico e pegajoso; raízes médias e finas em abundância e grossas poucas.

**A2** 22-44 cm; 10 YR 2/1; franca; estrutura moderada pequena granular e moderada pequena média blocos subangulares; transição gradual e plana; consistência de solo seco é macia e solo úmido é muito friável; solo molhado é plástico e pegajoso; raízes abundantes finas e muito finas.

**A3** 44-60 + cm; 10YR 2/1; franca-argilo-arenosa; estrutura moderada pequena granular; consistência do solo seco é macia e úmido é muito friável; solo molhado é plástico e pegajoso; raízes comuns finas e muito finas.

OBSERVAÇÕES: Perfil sobre crista calcária, na propriedade Rio Corrente

### Análises Físicas e Químicas – Perfil 1

Horizonte		Textura e Matéria Orgânica do solo (g/kg)					
Símbolo	Prof.	Areia G.	Areia F.	Silte	Argila	S/A	MO
	cm	0,20 – 0,05 mm	0,20 – 0,05 mm	0,05 – 0,002 mm	<0,002 mm		dag kg <sup>-1</sup>
A1	0-22	208	286	297	208	1,42	12,43
A2	22-44	231	239	310	219	1,41	8,73
A3	44-60	216	289	278	218	1,27	6,38

	pH	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB
	H <sub>2</sub> O	KCl	mg/ kg	mg/ kg	cmolc/ kg	cmolc/kg	cmolc/ kg
A1	7,13	6,5	0.30	0.03	18,77	7,83	26,92
A2	7,3	6,63	0.17	0.02	14,04	7,07	21,30
A3	7,37	6,69	0.14	0.03	12,83	6,67	19,66

	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	t	T	V	m	ISNa
	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	%	%	%
A1	0	0,61	26,92	27,53	97.8	0	0.1
A2	0	0,28	21,30	21,57	98.7	0	0.08
A3	0	0,28	19,66	19,94	98.6	0	0.13

Micro Nutrientes							
	P	P-rem	CO	Cu	Mn	Fe	Zn
	mg/ kg	mg/L	g/kg	mg/kg	mg/ kg	mg/kg	mg/kg
A1	615,59	16,9	7,21	1,00	58,42	3,75	18,90
A2	709,64	12,7	5,06	1,08	41,27	3,15	22,45
A3	684,36	12,1	3,70	1,09	41,16	4,26	25,82

## Anexo 2 – Ficha de Descrição do Perfil 2



**Data** 15/08/2017

**Classificação SIBCS** – Planossolo Háplicos Eutróficos vértissólico, textura muito arenosa / média-argilosa / argilosa, A moderado

**Unidade de mapeamento** – SXe

**Localização, município, estado e coordenadas:** Alvorada do Norte (GO) – 23L UTM 0310926 m E / 8400182 m S

**Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil** -

**Elevação** – 476m.

**Litologia** –

**Formação geológica** -

**Período** –

**Pedregosidade** – Não Pedregosa

**Rochosidade** – Não Rochosa

**Relevo local** - Plano

**Relevo regional** - Plano

**Erosão** – Não Aparente



**Drenagem** – Mal Drenado

**Vegetação primária** – Higrófila

**Uso atual** - Reserva

**Clima** – Aw, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por** – Guilherme Resende Corrêa

### Descrição Morfológica:

**A** 0-7 cm; 10YR 3/2; franca; grão simples; transição entre horizontes é abrupta e plana; consistência de solo seco é solta e solo úmido é friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes muito finas em abundância.

**AE** 7-13 cm; 2.5 YR 4/2; areia; grão simples; transição entre horizonte é abrupta e plana; consistência de solo seco é solta e solo úmido é friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes muitas e finas.

**E** 13-50 cm; 10YR 5/2; franco arenosa, estrutura moderada grande e média blocos subangulares e prismática; franca-arenosa; transição entre horizontes é clara e plana; possui mosqueado em quantidade comum, tamanho médio e contraste difuso; consistência do solo seco é muito dura e úmido é firme; solo molhado é plástico e pegajoso; raízes comuns de muito finas à finas.

**Btg** 50-60+ cm; 10YR 4/2; argila; estrutura forte grande prismática; possui mosqueado abundante de tamanho grande e contraste difuso; consistência do solo seco é extremamente dura e úmido é firme; solo molhado é muito plástico e muito pegajoso; raízes poucas e finas.

OBSERVAÇÕES: Perfil em Lagoa Intermitente em área embaceada.

### Análises Físicas e Químicas – Perfil 2

Horizonte		Textura e Matéria Orgânica do solo (g/kg)					
Símbolo	Prof.	Areia G.	Areia F.	Silte	Argila	S/A	MO
	Cm	0,20 – 0,05 mm	0,20 – 0,05 mm	0,05 – 0,002 mm	<0,002 mm		dag kg <sup>-1</sup>
A	0-7	165	236	359	24	14,37	10,61
AE	7-13	382	511	74	33	2,24	1,88
E	13-50	313	308	298	81	3,67	0,27
Btg	50-60+	122	174	247	457	0,54	0,27

pH (1:2,5)							
	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB
			cmolc / kg	cmolc / kg	cmolc/ kg	cmolc/kg	cmolc/ kg
A	5,09	3,9	0,55	0	4,70	0,93	6,18
AE	4,9	3,87	0,08	0	0,76	0,14	0,98
E	5,73	4,6	0,11	0	1,60	0,39	2,09
Btg	5,98	4,49	0,32	0,02	10,46	2,91	13,70

	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	t	T	V	m	ISNa
	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	%	%	%
A	0,29	11,11	6,47	17,28	35,7	4,5	0
AE	0,15	1,75	1,13	2,73	35,9	13,4	0
E	0,00	0,25	2,09	2,34	89,2	0	0
Btg	0,00	1,47	13,70	15,17	90,3	0	0,11

Micro Nutrientes							
	P	P-rem	CO	Cu	Mn	Fe	Zn
	mg/ kg	mg/L	g/kg	mg/kg	mg/ kg	mg/kg	mg/kg
A	7,61	32,8	6,15	3,70	62,83	242,35	7,52
AE	1,43	37,6	1,09	1,51	9,54	75,47	1,36
E	0,25	45,2	0,16	1,51	11,42	45,18	0,96
Btg	0,18	33,9	0,16	2,52	23,05	74,29	0,62

### Anexo 3 – Ficha de Descrição do Perfil 3



**Data** 15/08/2017

**Classificação SIBCS** – Neossolo Quatizrênico Ôrtico  
Típico, textura arenosa, A moderado, mesoácrico

**Unidade de mapeamento** – RQo

**Localização, município, estado e coordenadas** : Alvorada do Norte (GO) – 23L UTM 0310857 m E / 8400127 m S

**Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil**

**Elevação** – 480m.

**Litologia** - Arenito

**Formação geológica** -

**Período** –

**Material originário** –

**Pedregosidade** – Não Pedregosa

**Rochosidade** – Não Rochosa

**Relevo local** - Plano

**Relevo regional** - Plano

**Erosão** – Ligeira

**Drenagem** – Fortemente Drenado

**Vegetação primária** – Caju, Lixeira, Ipê Amarelo

**Uso atual** -

**Clima** – Aw, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por** – Guilherme Resende Corrêa

#### Descrição Morfológica:

**A** 0-8 cm; 10YR 4/1; areia; grão simples; transição entre horizontes difusa e plana; consistência de solo seco é solto e solo úmido é muito friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes comuns, finas e muito finas.

**C1** 8-57 cm; 10 YR 4/4; areia; grão simples; transição entre horizonte difusa e plana; consistência de solo seco é macia e solo úmido é muito friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes poucas e finas.

**C2** 57-70 + cm; 10YR 5/3; areia; grão simples; consistência do solo seco é macia; úmido é muito friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes poucas, finas e muito finas.

## Análises Físicas e Químicas – Perfil 3

## Textura e Matéria Orgânica do solo (g/kg)

## Horizonte

Símbolo	Prof.	Areia G.	Areia F.	Silte	Argila	S/A	MO
	Cm	0,20 – 0,05 mm	0,20 – 0,05 mm	0,05 – 0,002 mm	<0,002 mm		dag kg <sup>-1</sup>
A	0-8	485	496	11	8	1,3	0,67
C1	8-57	422	540	20	19	1,05	0,4
C2	57-70+	415	512	68	6	11,3	0,27

## pH (1:2,5)

	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB
			cmolc / kg	cmolc / kg	cmolc/ kg	cmolc/kg	cmolc/ kg
A	5,35	4,27	0,06	0	0,42	0,12	0,59
C1	4,72	3,86	0,01	0	0,11	0,02	0,14
C2	4,44	3,75	0,00	0	0,06	0,01	0,07

	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	t	T	V	m	ISNa
	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	%	%	%
A	0,00	0,74	0,59	1,33	44.2	0	0
C1	0,32	0,61	0,46	0,75	18.2	70.1	0
C2	0,46	0,77	0,53	0,84	8.3	86.8	0

## Micro Nutrientes

	P	P-rem	CO	Cu	Mg	Fe	Zn
	mg/ kg	mg/L	g/kg	mg/kg	mg/ kg	mg/kg	mg/kg
A	2,30	53,9	0,39	0,88	7,78	11,91	0,64
C1	0,88	52,8	0,23	0,97	1,09	18,49	0,66
C2	0,42	48,3	0,16	1,21	0,84	7,91	0,53

#### Anexo 4 – Ficha de Descrição do Perfil 4



**Data:** 15/08/2017

**Classificação SIBCS** – Neossolo Quartzitrênico Ôrtico Típico, A moderado, mesoacríco.

**Unidade de mapeamento** – RQo

**Localização, município, estado e coordenadas:** Alvorada do Norte (GO) – 23L UTM 0310824 m E / 8400055 m S

**Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil**

**Elevação** – 483m.

**Litologia** – Arenito.

**Formação geológica** -

**Período** –

**Material originário** –

**Pedregosidade** – Não Pedregosa

**Rochosidade** – Não Rochosa

**Relevo local** - Plano

**Relevo regional** - Plano

**Erosão** – Não Aparente

**Drenagem** – Acentuadamente Drenado

**Vegetação primária** – Sem decídua Cerradão

**Uso atual** -

**Clima** – Aw, da classificação de Köppen.

**Descrito e coletado por** – Guilherme Resende Corrêa

#### Descrição Morfológica:

**A** 0-14 cm; 10YR 3/3; areia; grão simples; transição entre horizontes difusa e plana; Porosidade de tamanhos pequenos e muitos; consistência de solo seco é macia e solo úmido é muito friável, solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes muito finas e grossas em muita quantidade.

**C1** 14-48 cm; 10 YR 4/3; areia; grão simples; transição difusa e plana; porosidade de tamanhos pequenos e muitos; consistência de solo seco é macia e solo úmido é muito friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes grossas em muita quantidade.

**C2** 48-61+ cm; 10YR 4/6; areia; grão simples; porosidade de tamanhos pequenos e muitos; consistência do solo seco é macia e solo úmido é muito friável; solo molhado é não plástico e não pegajoso; raízes finas e médias quantidade comuns.

## Análises Físicas e Químicas – Perfil 4

Horizonte		Textura e Matéria Orgânica do solo (g/kg)					
Símbolo	Prof.	Areia G.	Areia F.	Silte	Argila	S/A	MO
	Cm	0,20 – 0,05 mm	0,20 – 0,05 mm	0,05 – 0,002 mm	<0,002 mm		dag kg <sup>-1</sup>
A	0-14	473	487	31	9	3,4	0,94
C1	14-48	419	485	81	15	5,4	0,81
C2	48-61+	421	475	65	38	1,71	0,40

pH (1:2,5)							
	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB
			cmolc/ kg	cmolc / kg	cmolc/ kg	cmolc/kg	cmolc/ kg
A	5,21	4,19	0,03	0	0,60	0,21	0,83
C1	4,47	3,81	0,00	0	0,06	0,02	0,08
C2	4,35	3,74	0,00	0	0,07	0,01	0,09

	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	t	T	V	m	ISNa
	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	cmolc/ kg	%	%	%
A	0,06	1,14	0,90	1,97	42.2	7.1	0
C1	0,53	1,41	0,61	1,49	5.2	87.2	0
C2	0,67	1,14	0,75	1,22	7	88.7	0

Micro Nutrientes							
	P	P-rem	CO	Cu	Mg	Fe	Zn
	mg/ kg	mg/L	g/kg	mg/kg	mg/ kg	mg/kg	mg/kg
A	2,99	44,8	0,55	0,83	12,75	10,69	0,70
C1	2,54	43,2	0,47	1,04	2,19	11,43	0,54
C2	2,99	38	0,23	1,02	0,93	8,54	0,53

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 ; P - Na - K -- Extrator Mehlich-1; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 ; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V= Índice de Saturação por Bases; ISNa - Índice de Saturação por Sódio; P-rem = Fósforo Remanescente; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L; SB = Soma de Bases Trocáveis; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m= Índice de Saturação por Alumínio; MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black.