



COMPÊNDIO DE SOLOS DO BRASIL

VOLUME 2

Editores:

Ademir Fontana
Arcângelo Loss
Fabrício de Araújo Pedron



**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**
Núcleo Regional Sul

Compêndio de Solos do Brasil

Volume 2

Compêndio de Solos do Brasil - Volume 2

Editores

Ademir Fontana

Arcângelo Loss

Fabrício de Araújo Pedron

1ª edição

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul
Santa Maria - Rio Grande do Sul
2025

Capa e projeto gráfico: Fabrício de A. Pedron

Edição de texto: Editores

Diagramação: Fabrício de A. Pedron

Revisão: Susana Gonçalves

Impressão: E-Book

Copyright: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul

Conselho Editorial SB-CS-NRS: Prof. Dr. Paulo Ivonir Gubiani (UFMS), Prof. Dr. Rodrigo Pivoto Mulazzani (UFMS), Prof. Dr. Fábio Joel Kochem Mallmann (UFMS), Prof. Dr. Filipe Selau Carlos (UFPEL), Prof. Dr. Daniel Alexandre Heberle (UDESC), Prof. Dra. Jaqueline Pereira Machado de Oliveira (UFPEL), Prof. Dr. Fabrício de Araújo Pedron (UFMS).

Ficha catalográfica

Compêndio de solos do Brasil [livro eletrônico] : volume 2 / editores Ademir Fontana, Arcângelo Loss, Fabrício de Araújo Pedron. -- 2. ed. -- Santa Maria, RS : Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2025.
PDF

Vários autores.

Bibliografia

ISBN 978-65-992884-8-7

1. Biomas - Brasil 2. Ciência do solo 3. Solo

I. Fontana, Ademir. II. Loss, Arcângelo. III. Pedron, Fabrício de Araújo.

25-296471.0

CDD-631.4

Ficha catalográfica elaborada por Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

A reprodução total ou parcial desta publicação será permitida mediante a citação da sua autoria.



**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**
Núcleo Regional Sul

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul

Tel.: (0xx) 55 3220-8918

E-mail: contato@sbc-s-nrs.org.br

<https://www.sbc-s-nrs.org.br/>

Sumário

Autores	VI
Apresentação	09
1 Bioma Pampa	
1.1 Solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino Gaúcho	10
1.2 Solos da região de Pelotas no Litoral Sul do Rio Grande do Sul	27
2 Bioma Pantanal	
2.1 Solos do Pantanal Norte	46
3 Bioma Mata Atlântica	
3.1 Solos da Planície Costeira Setentrional de Santa Catarina	70
3.2 Solos de montanha da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil	103
4 Bioma Caatinga	
4.1 Solos do Cariri Paraibano	125
5 Bioma Cerrado	
5.1 Plintossolos Pétricos do Tocantins	146
6 Bioma Amazônia	
6.1 Solos e paisagens da região Norte de Rondônia	171
6.2 Solos das Savanas de Roraima	192

Autores e editores

Ademir Fontana
Pesquisador da Embrapa Gado de Corte
ademir.fontana@embrapa.br

Alan Ferreira Leite de Lima
Doutorando em Agronomia Tropical na UFAM
alan.lima@ufam.edu.br

Alexandre Ferreira do Nascimento
Pesquisador Embrapa Trigo
alexandre.nascimento@embrapa.br

Arcângelo Loss
Prof. Associado do Departamento de Engenharia Rural da UFSC
arcangelo.loss@ufsc.br

Carlos Eduardo Lucas Vieira
Prof. Adjunto do Departamento de Geologia da UFRR
carlos.vieira@ufrr.br

Carlos Henrique Lima de Mattos
Prof. do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFRR
carlos.matos@ifrr.edu.br

Daniel Alexandre Heberle
Prof. Substituto da Universidade do Estado de Santa Catarina
heberle_78@yahoo.com.br

Daniela Schievano de Campos
Pós-doutoranda em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas na Esalq/USP
dani.schievano@usp.br

Eduardo Carvalho da Silva Neto
Prof. Adjunto do Departamento de Solos da UFRRJ
netocseduardo@gmail.com

Fabício de Araújo Pedron
Prof. Associado do Departamento de Solos da UFSM
fapedron@ufsm.br

Flávio Pereira de Oliveira
Prof. Associado do Departamento de Solos e Engenharia Rural da UFPB
flavio.oliveira@academico.ufpb.br

Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem
Doutor em Agroecossistemas
gabrielrosolem@gmail.com

Jean Michel Moura Bueno
Prof. da Unicruz
bueno.jean1@gmail.com

José João Lelis Leal de Souza
Prof. Associado do Departamento de Solos da UFV
jjlelis@ufv.br

José Frutuoso do Vale Júnior
Prof. Titular do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFRR
valejr51@gmail.com

Luís Antônio Coutrim dos Santos
Prof. Adjunto Colegiado de Engenharia Florestal da UEA
lacsantos@uea.edu.br

Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki
Prof. Associado do Departamento de Recursos Hídricos da UFPel
dusuzuki@gmail.com

Marcos Gervasio Pereira
Prof. Titular do Departamento de Solos da UFRRJ
gervasio@ufrj.br

Milton César Costa Campos
Prof. Titular do Departamento de Solos e Engenharia Rural da UFPB
mcesarsolos@gmail.com

Pablo Miguel
Prof. Associado do Departamento de Solos da UFPel
pablo.miguel@ufpel.edu.br

Pablo Vidal-Torrado
Prof. Titular do Departamento de Ciência do Solo da Esalq/USP
pvidal@usp.br

Raphael Rodrigues Brizzi
Prof. Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFRJ
raphael.brizzi@usp.br

Ricardo Simão Diniz Dalmolin
Prof. Titular do Departamento de Solos da UFSM
dalmolin@ufsm.br

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida
Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura
rodrigo.almeida@embrapa.br

Rodrigo Santana Macedo
Prof. Adjunto da Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias da UFCG
macedors.rodrigo@gmail.com

Vladimir de Souza
Prof. Associado do Departamento de Geologia da UFRR
vladimir.souza@ufrr.br

Apresentação

Conhecer os solos do Brasil, um país continental, não é uma tarefa fácil. Organizar informações sobre solos e paisagens dos diferentes biomas brasileiros e disponibilizá-las de forma digital e gratuita aos estudantes de graduação e pós-graduação, professores, pesquisadores da área e a todos os interessados em solos tem sido uma das missões do Grupo de Trabalho (GT) Soil Judging Brasil da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Desde 2024, o referido GT tem trabalhado em associação com renomados pedólogos brasileiros para a elaboração do *Compêndio de Solos do Brasil*, trazendo textos pedológicos acessíveis e com riqueza de informações sobre os aspectos morfológicos, físicos e químicos desses solos, bem como interpretações das suas limitações e seus potenciais de uso. O trabalho visa fomentar o desenvolvimento da pedologia no Brasil, especialmente em relação ao processo formativo dos estudantes.

É com esse intuito que trazemos a público, no ano de 2025, o Volume 2 do *Compêndio de Solos do Brasil*, em que são apresentados 9 capítulos abordando solos e paisagens dos diferentes biomas brasileiros. Todos os textos foram elaborados por pesquisadores com elevada experiência técnico-científica nas suas respectivas regiões e pensados para que o leitor possa ter uma compreensão facilitada sobre os ambientes abordados.

Neste volume, os capítulos também serão disponibilizados individualmente em arquivo pdf para que possam ser facilmente utilizados em aulas, trabalhos em grupo, etc. A ideia é tornar os textos mais acessíveis para o uso acadêmico. Desta forma, desejamos que sejam amplamente utilizados pelos professores de pedologia no Brasil e apreciados pelos estudantes da ciência do solo.

Desejamos uma boa leitura a todos!

Os editores.



Solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino Gaúcho

Fabrício de Araújo Pedron¹; Pablo Miguel²; Jean Michel Moura Bueno³; Ricardo Simão Diniz Dalmolin¹; Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki².

¹Universidade Federal de Santa Maria

²Universidade Federal de Pelotas

³Universidade de Cruz Alta

1 Introdução

O bioma Pampa é um ecossistema complexo e rico em biodiversidade que ocorre no Sul do Brasil, em uma área de 176,5 mil km², no estado do Rio Grande do Sul (RS) (Pedron e Dalmolin, 2019). Com vegetação predominantemente campestre, denominada Campos Subtropicais, e uma elevada diversidade geológica e pedológica, o bioma Pampa apresenta ambientes frágeis, como áreas montanhosas, solos rasos, pedregosos e arenosos e, até mesmo, areais, o que condiciona uma elevada restrição ao uso das terras (Reichert et al., 2016; Dalmolin et al., 2019).

Nas últimas décadas, as áreas de campo vêm sendo transformadas em lavouras de soja, o que promove a perda da sua biodiversidade e a degradação dos solos em cultivos agrícolas sem a implementação de práticas conservacionistas adequadas (Suzuki et al., 2023b).

Uma das regiões fisiográficas importantes do bioma Pampa no RS é o Escudo Cristalino, também conhecido como Escudo Sul-Rio-Grandense ou Serra do Sudeste. De acordo com Brasil (1973), o Escudo Cristalino no RS abrange uma área de 35 mil km², formado predominantemente por rochas metamórficas e ígneas plutônicas, com algumas porções de rochas vulcânicas e sedimentares. Trata-se de um Escudo Cristalino residual de processo orogenético do ciclo brasileiro, iniciado a aproximadamente 1 bilhão de anos na Era Proterozoica. Atualmente, o Escudo Cristalino possui elevação máxima de, aproximadamente, 500 m, com predomínio de relevo forte ondulado a montanhoso, condicionando a formação de solos restritos ao uso agrícola.

Os solos, por conta da geologia e da declividade, são predominantemente rasos e pedregosos, associados a afloramentos rochosos (Brasil, 1973). No caso da Encosta Leste, também são comuns solos com gradiente textural derivados de granitos em relevo menos declivoso. Esses, por serem mais desenvolvidos, apresentam potencial para exploração agrícola, desde que manejados corretamente.

O objetivo deste capítulo é apresentar a variedade de solos que ocorrem na Encosta Leste da região do Escudo Cristalino Gaúcho, sua relação solo-paisagem, suas principais características físicas e químicas, além de suas feições morfológicas típicas, suas limitações de uso agrícola e seu potencial de uso das terras.

2 Caracterização ambiental

A província geomorfológica do Escudo Cristalino está localizada na porção

centro-sudeste do RS (Figura 1), entre a região da Depressão Central e o Litoral. A região faz parte do bioma Pampa, com uma área total de 35 mil km² (Brasil, 1973), o que corresponde a 12,4% do estado do RS. O clima predominante da região é o do tipo Cfa (subtropical úmido) de acordo com o sistema de classificação de Köppen. Esse clima é caracterizado por não apresentar estação seca, com temperatura média anual de 19,2 °C e precipitação pluviométrica anual média de 1.700 mm (Alvares et al., 2013).

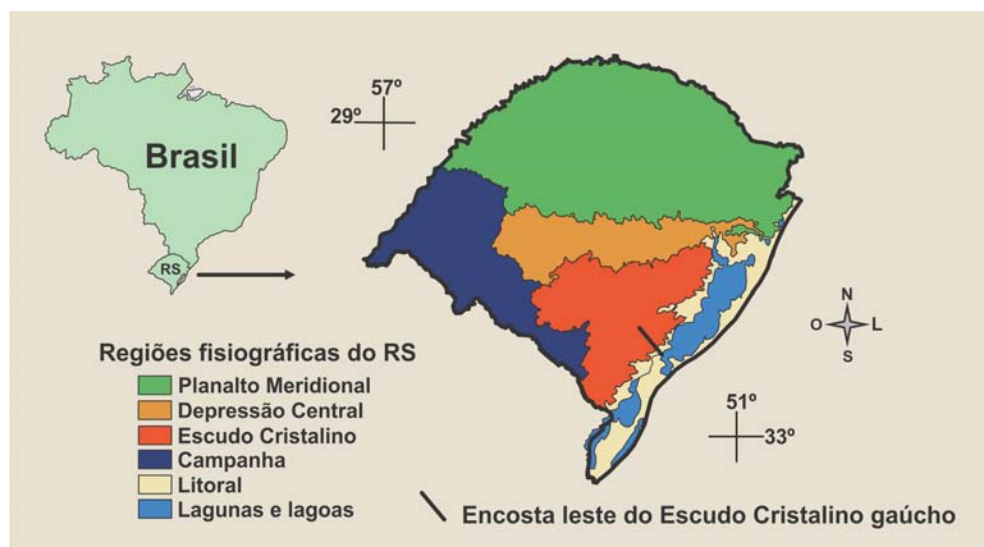


Figura 1. Mapa de localização da Encosta Leste do Escudo Cristalino Gaúcho. Fonte: Dos autores.

3 Relação solo-paisagem

A Encosta Leste do Escudo Cristalino Gaúcho apresenta desde solos rasos, pouco desenvolvidos, até solos profundos e bem desenvolvidos (Figura 2). Todos têm textura média na fração fina do horizonte superficial e textura cascalhenta na fração grossa ao longo de todo o perfil do solo, devido aos fragmentos residuais de quartzo, característicos da rocha granítica.

Na porção mais elevada da encosta, em relevo predominantemente montanhoso e forte ondulado, ocorrem os Neossolos Regolíticos e, por vezes, os Neossolos Litólicos, ambos distróficos, da Unidade de Mapeamento (UM) Pinheiro Machado (Brasil, 1973), e frequentemente associados com afloramentos rochosos.

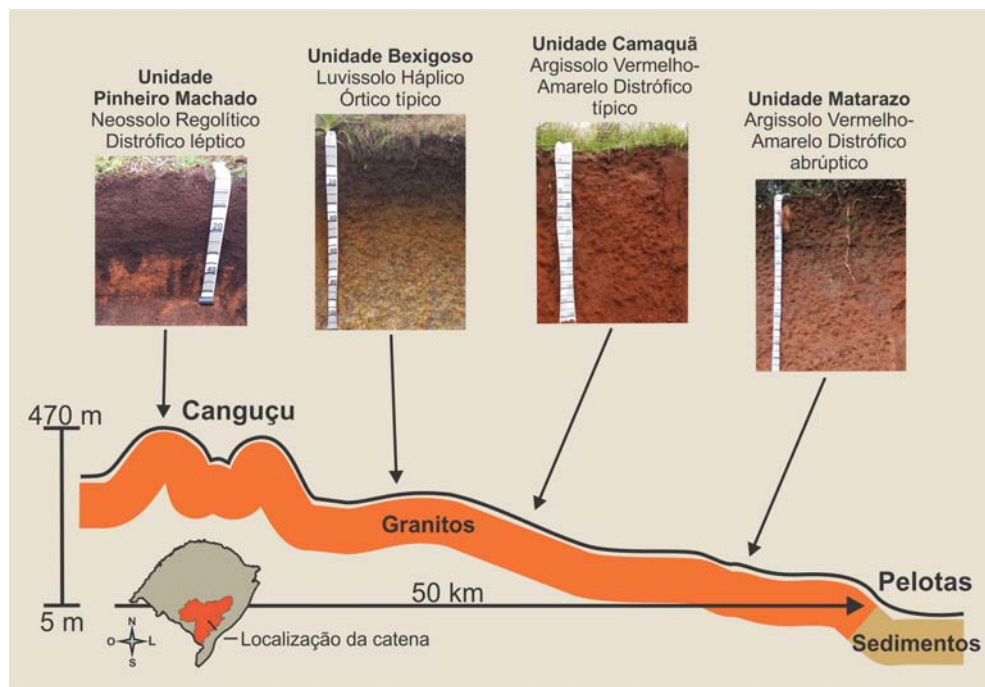


Figura 2. Catena típica da Encosta Leste do Escudo Cristalino gaúcho. Fonte: Dos autores.

À medida que o relevo vai ficando menos declivoso, ocorrem os Luvissois Háplicos Órticos da UM Bexigoso, em relevo ondulado. No terço inferior da catena predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos da UM Camaquã, em relevo ondulado a forte ondulado, e da UM Matarazo, em relevo predominantemente suave ondulado (Figura 2).

4 Dados pedológicos

4.1 Neossolos Regolíticos Distróficos lépticos

Ocorrem nas áreas graníticas montanhosas, onde predomina relevo ondulado a forte ondulado, em altitudes que variam entre 200 e 500 m, e são frequentemente associados a afloramentos rochosos em até 10% da área de ocorrência. Foram identificados como UM Pinheiro Machado no levantamento de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973).

São solos pouco desenvolvidos, rasos a pouco profundos, bem drenados, com sequência de horizontes A-Cr-R ou A-R (Figura 3). São solos distróficos, com coloração escura e textura média (fração fina) e cascalhenta (fração grossa) no hori-

zonte A (Quadro 1). São facilmente identificados pelas línguas do horizonte A que penetram o horizonte Cr (transição irregular).

São solos ácidos, com CTC, saturação e soma de bases médias e baixos teores de fósforo e alumínio trocável no horizonte A. Apresentam elevados teores de matéria orgânica no horizonte superficial (Quadro 1).



Figura 3. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Neossolo Regolítico Distrófico léptico. Fonte: Dos autores.

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Neossolo Regolítico Distrófico léptico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-20	400	150	240	210	1,14
Cr	20-80	140	180	470	210	2,23

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	4,9	2,5	2,0	0,86	0,04	5,3	0,5	11,2
Cr	4,9	1,1	0,7	0,13	0,07	1,0	6,1	9,1

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	8	48	7	24,3
Cr	75	22	<1	2,0

4.2 Luvissolos Háplicos Órticos típicos

Ocorrem predominantemente no terço superior da Encosta Leste, em condições de relevo ondulado, com altitudes entre 200 e 400 m. Foram identificados como UM Bexigoso no levantamento de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973). São solos pouco profundos, com drenagem moderada, desenvolvidos predominantemente de granitos, apesar de também serem formados a partir de gnaiss. Apresentam sequência de horizontes A-Bt-C e espessura do solum (A+B) em torno de 60 cm (Figura 4), com horizonte A proeminente, conforme descrito em Santos et al. (2018).

Apresentam, em geral, mudança textural abrupta, com textura francoarenosa no horizonte A e argilosa no B (Quadro 2). Pode haver inclusões de Neossolos Litólicos ou Regolíticos da UM Pinheiro Machado em até 20% da sua área de ocorrência. Quimicamente, são solos com pH ácido, eutróficos, com saturação por bases alta, sem problemas de alumínio trocável e relativamente pobres em nutrientes disponíveis – em especial o fósforo – nos horizontes superficiais.

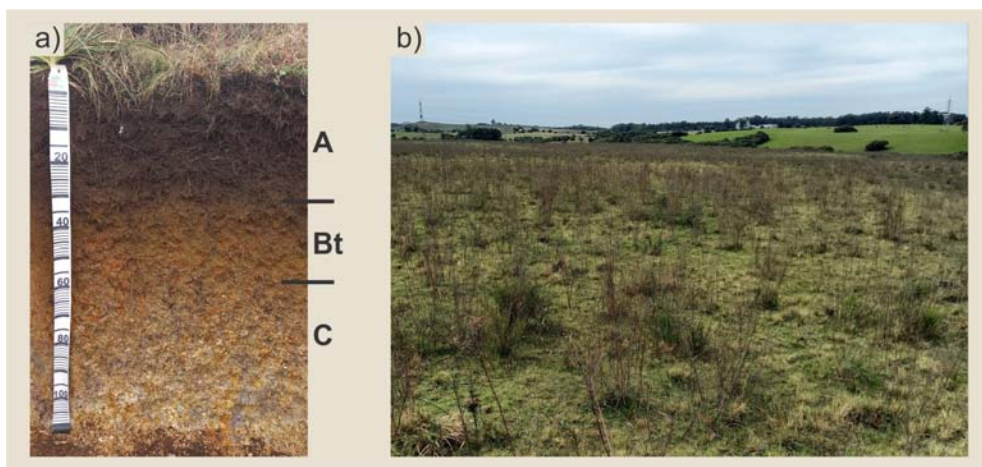


Figura 4. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Luvissolo Háplico Órtico típico. Fonte: Dos autores.

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Luvissole Háplico Órtico típico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizon-tes	Profundi-dade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-20	290	230	310	170	1,82
A2	20-35	250	170	300	280	1,07
Bt	35-60	100	100	240	560	4,80
C	60-90	260	140	300	300	1,00

Hori-zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,0	3,3	2,2	0,18	0,09	3,5	0,9	10,0
A2	4,9	4,1	2,7	0,21	0,15	4,1	1,2	12,5
Bt	5,0	7,7	4,3	0,17	0,43	4,9	2,6	20,1
C	5,4	7,4	5,5	0,22	0,57	2,4	1,0	17,1

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	14	56	1	11,9
A2	14	58	1	10,8
Bt	17	63	1	11,3
C	7	80	1	4,5

4.3 Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos

Ocorrem predominantemente no terço médio inferior da Encosta Leste, em condições de relevo ondulado a suave ondulado, com altitudes entre 30 e 150 m. Foram identificados como UM Camaquã no levantamento de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973). São solos profundos, bem drenados, desenvolvidos de granitos. Apresentam sequência de horizontes A-Bt-C, podendo ocorrer horizontes transicionais entre A e B. A espessura do solum (A+B) varia de 120 a mais de 150 cm (Figura 5).

Apresentam gradiente textural elevado, frequentemente com mudança textural abrupta, com textura francoarenosa no horizonte A e argila no B (Quadro 3). Pode haver inclusões de Neossolos Litólicos ou Regolíticos da UM Pinheiro Machado em menos de 5% da sua área de ocorrência e de Gleissolos Háplicos em

até 10% da área, especialmente nas depressões do terreno.

Quimicamente, são solos com pH ácido, distróficos, com baixo teor de matéria orgânica e baixa saturação por bases, sem problemas de alumínio trocável nos horizontes superficiais e significativamente pobres em nutrientes disponíveis, como o fósforo.

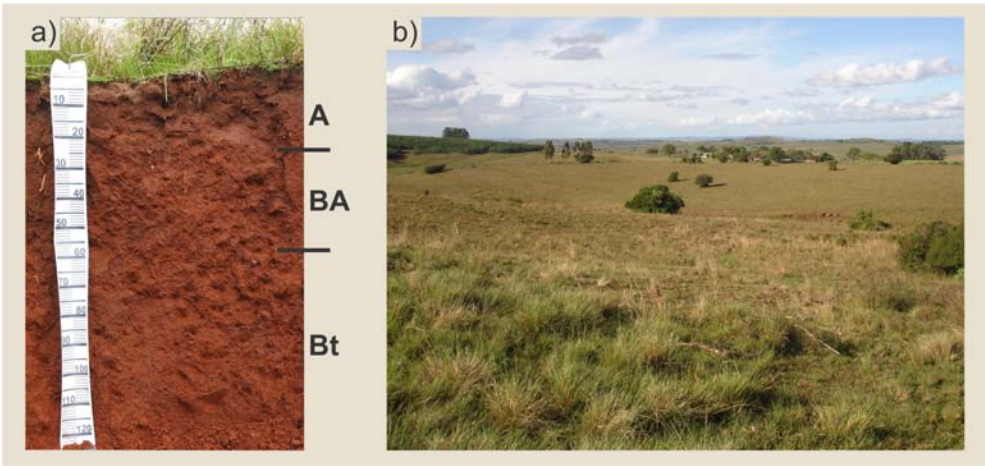


Figura 5. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. Fonte: Dos autores.

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-30	570	120	200	110	1,82
A2	30-42	430	130	240	200	1,20
BA	42-58	350	80	190	380	0,50
Bt1	58-90	300	90	170	440	0,39
Bt2	90-120	370	90	140	400	0,35
BC	120-150+	390	90	150	370	0,41

Quadro 3. Continuação.

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	3,5	0,6	0,7	0,32	0,07	2,4	0,7	4,8
A2	4,6	0,6	0,6	0,22	0,05	2,2	1,1	4,8
BA	5,1	0,9	1,3	0,33	0,07	2,9	1,9	7,4
Bt1	5,3	0,9	1,6	0,35	0,07	2,4	2,3	7,6
Bt2	5,3	0,6	1,1	0,21	0,07	2,1	2,2	6,3
BC	5,3	0,6	1,0	0,13	0,07	2,0	1,7	5,5

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	29	35	4	7,4
A2	42	31	2	5,2
BA	42	35	<1	5,2
Bt1	44	38	<1	4,2
Bt2	52	32	<1	3,0
BC	49	33	<1	2,5

4.4 Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos abrupticos

Ocorrem predominantemente no terço médio inferior da Encosta Leste, em condições de relevo suave ondulado, com altitudes em torno de 80 m. Foram identificados como UM Matarazo no levantamento de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973). São solos profundos, bem drenados, desenvolvidos de granitos. Apresentam sequência de horizontes A-AB-BA-Bt-C e espessura do solum (A+B) de até 130 cm (Figura 6).

Apresentam gradiente textural elevado, com predominância de transição clara e gradual, com textura francoarenosa no horizonte A e argila/muito argilosa no B (Quadro 4), caracterizando uma mudança textural abrupta, conforme os critérios de Santos et al. (2018). Podem haver as mesmas inclusões de solos rasos e hidromórficos mencionadas no Argissolo da UM Camaquã.

Quimicamente, são solos com pH ácido, distróficos, com teores médios de matéria orgânica e saturação por bases, sem problemas de alumínio trocável nos horizontes superficiais e significativamente pobres em nutrientes disponíveis, em especial o fósforo.

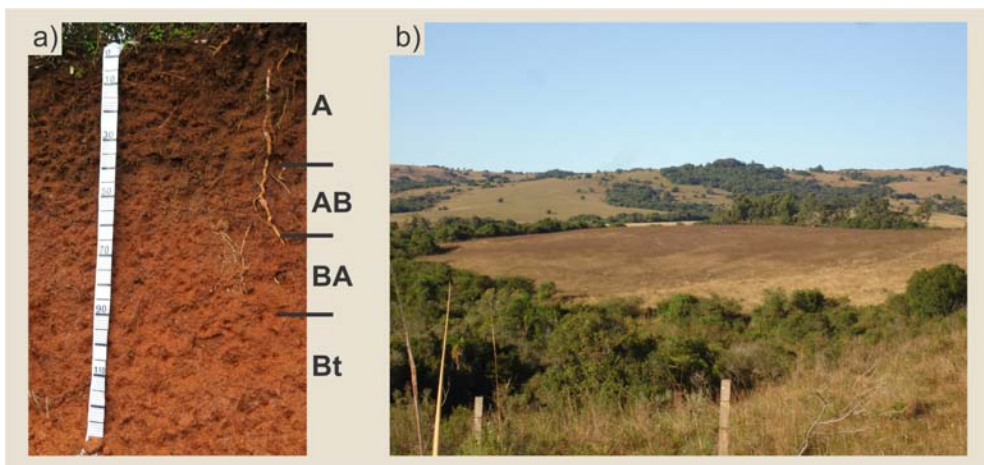


Figura 6. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico. Fonte: Dos autores.

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-22	540	160	130	170	0,76
AB	22-35	360	110	100	430	0,22
BA	35-50	220	50	100	630	0,15
Bt1	50-74	220	50	140	590	0,23
Bt2	74-104	230	70	160	540	0,29
BC	104-128	260	70	200	470	0,42

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	4,5	2,5	1,0	0,40	0,20	4,2	0,5	8,7
AB	4,8	2,6	2,6	0,70	0,01	5,3	1,3	12,5
BA	4,8	2,6	2,1	1,00	0,01	6,8	3,0	15,5
Bt1	4,8	2,7	2,7	0,50	0,01	6,4	2,6	14,9
Bt2	4,9	2,7	3,7	0,10	0,10	7,5	1,4	15,5
BC	5,4	4,3	4,7	0,10	0,10	5,7	0,2	15,1

Quadro 4. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	11	47	3	29,0
AB	18	47	1	18,0
BA	34	37	1	15,0
Bt1	30	40	1	8,0
Bt2	17	43	1	4,0
BC	21	61	1	2,0

5 Feições morfológicas típicas

As principais feições morfológicas presentes nos solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino são as seguintes: Gradiente Textural (GT) elevado entre horizontes A-B e a textura cascalhenta na fração grossa, devido aos grãos de quartzos residuais do granito.

O GT elevado é característico de solos formados pelo processo de argiluviação (lessivagem), como os Argissolos e Luvisolos. A translocação de argila que ocorre do horizonte superficial A para o horizonte subsuperficial B, caracterizando um horizonte do tipo B textural (Bt) (Figura 7), tem sido reconhecida como processo natural autóctone em vários solos do RS (Michelon et al., 2010).

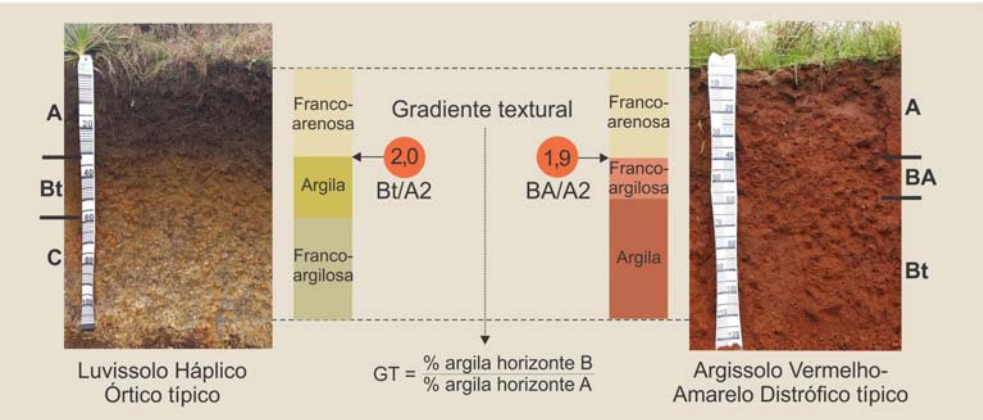


Figura 7. Exemplos de gradiente textural (GT) dos solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino gaúcho. Fonte: Dos autores.

O gradiente textural elevado é responsável pela menor velocidade de infiltra-

ção de água no perfil, podendo resultar em saturação do horizonte A e escoamento superficial. Essas condições morfológicas favorecem a ocorrência de erosões subsuperficiais, também conhecidas por erosão em canais ou piping (Figura 8).



Figura 8. Erosão subsuperficial: abertura do canal por solapamento do solo (a) e desenvolvimento de voçorocas pela evolução da erosão superficial (b) em Argissolos no RS. Fonte: Dos autores.

Já a textura cascalhenta, presente nos solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino Gaúcho é resultado da alteração do granito (material de origem), devido à presença abundante de fragmentos de quartzo residual acima de 2 mm de diâmetro (Figura 9). O volume elevado de fragmentos de quartzo no solo reduz a sua retenção de água (Pereira et al., 2023) e aumenta o desgaste de implementos agrícolas em razão da elevada abrasividade do quartzo.

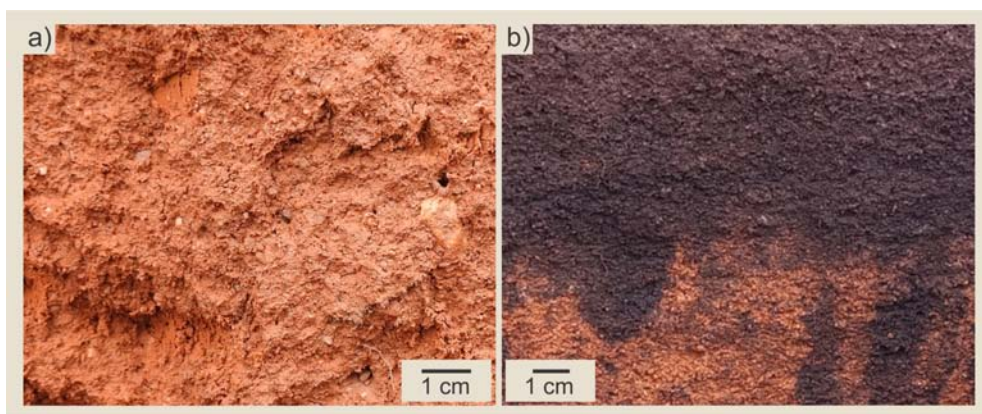


Figura 9. Textura cascalhenta em solos derivados de granito da Encosta Leste do Escudo Cristalino gaúcho. Presença de cascalho quartzoso em solos desenvolvidos (a) e na interface horizonte A e Cr de Neossolos (b). Fonte: Dos autores.

6 Limitações de uso agrícola

Os Neossolos Regolíticos e Litólicos são solos com maior restrição de uso agrícola, apresentando limitações referentes à sua menor espessura de perfil, pedregosidade, capacidade de retenção de água, fertilidade natural e relevo declivoso. Essas características prejudicam o desenvolvimento de raízes, a mecanização e favorecem a erosão superficial (Streck et al., 2018).

Os solos mais desenvolvidos, como os Luvisolos e Argissolos, apresentam menores restrições de uso, mas ainda demandam atenção para dois fatores limitantes: baixa fertilidade, devido a menor reserva de bases e fósforo no horizonte A, e elevada suscetibilidade à erosão (Figura 10), devido ao relevo muitas vezes ondulado a forte ondulado e ao seu elevado gradiente textural, que influencia na dinâmica da condutividade hidráulica no perfil do solo (Silveira, 2015).

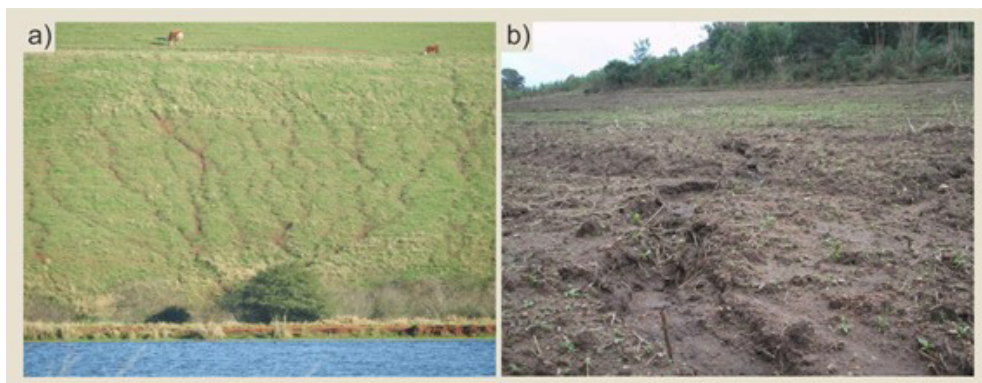


Figura 10. Ocorrência de erosão em solos da Encosta Leste do Escudo Cristalino gaúcho. Erosão em sulco em área de pastagem (a) e em área de lavoura (b). Fonte: Dos autores.

7 Potencial de uso das terras

Os Neossolos Regolíticos e Litólicos, devido a sua maior fragilidade, de forma geral, não apresentam potencial para a produção anual de grãos, exceto em áreas planas, onde o risco de erosão é baixo. Porém, há limitação da profundidade efetiva do solo, o que o torna crítico para as plantas em períodos de déficit hídrico. São terras que devem ser trabalhadas com cultivos perenes, como pastagens nativas ou melhoradas, destinadas especialmente às criações bovina e ovina. A fruticultura também apresenta potencial nessas terras, nas quais cultivos de oliveiras e

videiras viníferas têm ganhado destaque (Figura 11) com produtos de qualidade e alto valor agregado. Além disso, a cultura do pêssego é historicamente plantada nessas áreas.

Entretanto, mesmo quando utilizadas com pastagem e fruticultura, o manejo dessas terras necessita do emprego de práticas conservacionistas do solo e da água, bem como o manejo de máquinas e animais para evitar a compactação e a degradação da estrutura do solo (Suzuki et al., 2021; Ramos et al., 2022; Suzuki et al., 2023a).

Já as áreas com Luvisolos e Argissolos, devido a melhores condições de relevo e ao maior desenvolvimento do solo, apresentam potencial para o cultivo anual de grãos (Figura 11). No entanto, é preciso corrigir as limitações de fertilidade e promover o manejo conservacionista das áreas agrícolas com a adoção de práticas como o cultivo em nível, sob sistema de plantio direto, o terraceamento das encostas e o cuidado para evitar o tráfego de máquinas em condições de solo molhado, em razão de elevada plasticidade e pegajosidade.

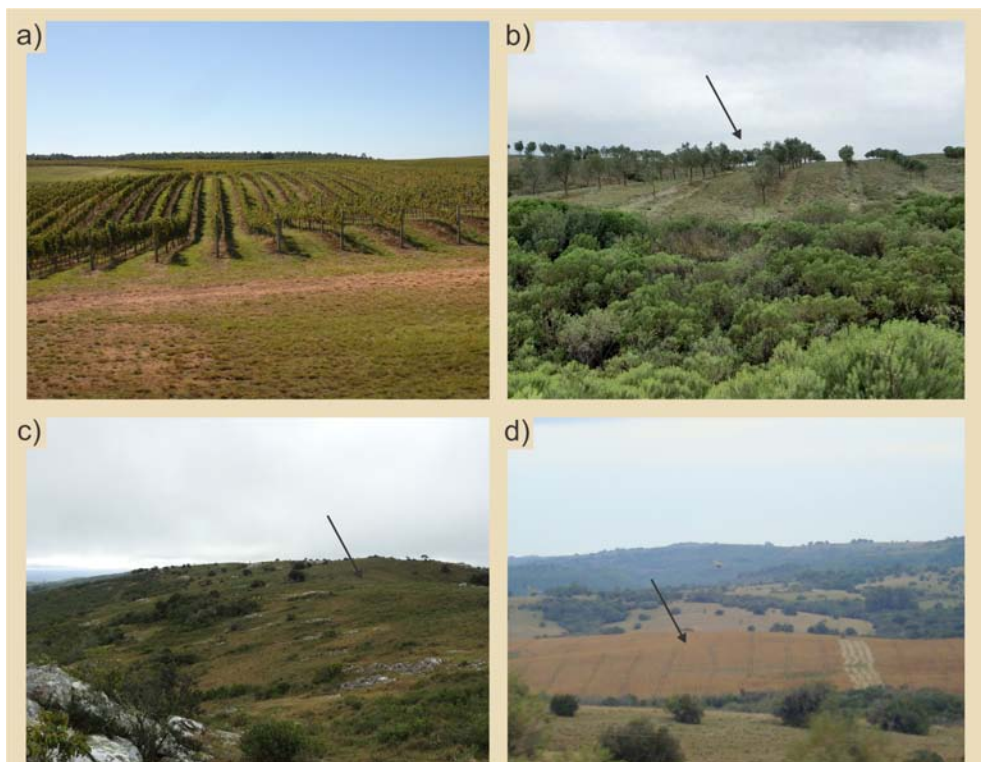


Figura 11. Uso potencial das terras na Encosta Leste do Escudo Cristalino gaúcho. Cultivo de videira (a), cultivo de oliveira (b), pastagem plantada para bovinos e ovinos (c), lavoura de soja (d). As setas indicam a posição exata das áreas mencionadas. Fonte: Dos autores.

8 Considerações finais

O Escudo Cristalino Gaúcho é uma região que apresenta geomorfologia que condiciona relevos declivosos e solos rasos e pouco profundos. Essas características limitam o desenvolvimento agrícola da região, afetando, conseqüentemente, a economia e o desenvolvimento social. Apesar do menor potencial agrícola relativo, é uma região com elevada beleza cênica, ainda pouco explorada pelo turismo rural e para a produção de culturas alternativas com maior valor agregado, como a videira, a oliveira e a noqueira.

Os Neossolos são aqueles com maior limitação e menor potencial para a produção de grãos, porém aptos para o uso com pastagem e fruticultura, associados às práticas de conservação do solo e da água e ao manejo de máquinas e animais nas áreas (Pedron et al., 2019). Já os Luvissolos e Argissolos apresentam bom potencial produtivo, desde que manejados de forma racional, com o uso de práticas agrícolas complexas para a manutenção da sua qualidade. Essas áreas, muitas vezes com relevo ondulado a forte ondulado, devem ser trabalhadas com atenção ao manejo dos solos e das águas, evitando a degradação do ambiente.

Essa região apresenta uma riqueza de cursos d'água, reforçando a necessidade das práticas já citadas, mas também o respeito à legislação ambiental, como a manutenção de matas ciliares para impedir a erosão das margens dos cursos hídricos, seu assoreamento e a contaminação das águas.

9 Referências

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JL, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22:711–728, 2013.

Brasil, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife: MA/DPP, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

Dalmolin RSD, Pedron FA, Flôres CA. Mapeamento, classificação e potencial de uso agrícola dos solos arenosos do Bioma Pampa. In: Pedron, FA, Dalmolin RSD. Solos do Bioma Pampa Brasileiro. Ed. UFSM: Santa Maria. 2019. p. 97-146.

Michelson CR, Azevedo AC, Pedron FA, Dalmolin RS, Sturmer SK, Gonçalves J, Jesus SL. Causes of morphological discontinuities in soils of Depressão Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Sci. Agric.* 67:319-326, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300010>

Pedron FA, Dalmolin RSD. Solos do Bioma Pampa Brasileiro. Ed. UFSM: Santa Maria. 2019. 280p.

Pedron FA, Dalmolin RSD, Flores CA. Gênese e morfologia dos solos arenosos do Bioma Pampa. In: Pedron FA, Dalmolin RSD. Solos do Bioma Pampa Brasileiro. Ed. UFSM: Santa Maria. 2019. p. 51-96.

Pereira CA, Mulazzani RP, Van Lier QJ, Pedron FA, Gubiani PI. Particle arrangement and internal porosity of coarse fragments affect water retention in stony soils. *Eur J Soil Sci.* 74:e13382, 2023. <https://doi.org/10.1111/ejss.13382>

Ramos MF, Almeida WRS, Amaral RL, Suzuki LEAS. Degree of compactness and soil quality of peach orchards with different production ages. *Soil & Tillage Research* 219:105324, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105324>

Reichert JM, Amado TJC, Reinert DJ, Rodrigues MF, Suzuki LEAS. Land use effects on subtropical, sandy soil under sandization/desertification processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 233:370–380, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.039>

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbrreras JF, Coelho MR, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa; 2018.

Silveira CPL. Caracterização de solo e sedimentos em depósitos e fontes em potencial na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. 127f. 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

Streck EV, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Giasson E, Pinto LFS. Flores CA, Schneider P. Solos do Rio Grande do Sul. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS-Emater/RS-Ascar, 2018.

Suzuki LEAS, Almeida WRS, Amaral RL, Ramos MF, Rehbein MO, Kunde RJ. Capacidade de uso e aptidão agrícola das terras de propriedades rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas. *ForScience* 9:1, e00873, 2021. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e873>

Suzuki LEAS, Amaral RL, Almeida WRS, Ramos MF, Nunes MR. Oat straw mulching reduces interrill erosion and nutrient losses caused by runoff in a newly planted peach orchard. *Soil Syst.* 7:8, 2023a. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010008>

Suzuki LEAS, Pedron FA, Oliveira RB, Rovedder APM. Challenges in the Management of Environmentally Fragile Sandy Soils in Southern Brazil. *Soil Syst.* 7:9, 2023b. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010009>



Solos da região de Pelotas no Litoral Sul do Rio Grande do Sul

*Pablo Miguel¹; Fabrício de Araújo Pedron²; Jean Michel Moura
Bueno³; Ricardo Simão Diniz Dalmolin².*

¹Universidade Federal de Pelotas

²Universidade Federal de Santa Maria

³Universidade de Cruz Alta

1 Introdução

Os solos são recursos naturais de lenta renovação que desempenham importantes serviços ambientais, tais como produção de alimentos, ciclagem de nutrientes, regulação do ciclo hidrológico e preservação de recursos genéticos. A existência de ecossistemas complexos é resultante da diversidade de solos na superfície do planeta Terra. Considerando que a grande maioria das ações humanas, principalmente aquelas que envolvem a produção de alimentos, causam diversos impactos ambientais, é fundamental que a sociedade conheça seus solos visando ao seu uso sustentável.

A região do Litoral Sul gaúcho é um ambiente de relevo predominantemente plano, com a presença de solos arenosos e drenagem restrita. Geologicamente, o Litoral Sul é constituído, em grande parte, por sedimentos arenosos inconsolidados associados a depósitos eólicos, lagunares, praias, paludiais e fluviolagunares. Esses depósitos decorrem dos ciclos de regressão e transgressão marinha, ocorridos nos últimos 65 milhões de anos e iniciados na Era Cenozoica, Período Terciário (Pedron e Dalmolin, 2019).

Os solos dessa região apresentam gradiente textural elevado, sendo classificados, majoritariamente como Planossolos e Argissolos, com menor ocorrência dos Plintossolos e Chernossolos. Como resultado da sua formação associada a ambientes marinhos, alguns solos apresentam elevados teores de sódio trocável, ocorrendo, até mesmo, solos com caráter sódico, como os Planossolos Nátricos. Também são comuns as classes de solos sem gradiente textural expressivo, associados à má drenagem, como os Gleissolos Melânicos e Neossolos Quartzarênicos.

O objetivo deste texto é realizar uma abordagem detalhada dos solos e paisagens que ocorrem entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, mais especificamente aqueles da margem esquerda do canal São Gonçalo, bem como apresentar as principais classes desses solos e sua variabilidade na paisagem, suas características ambientais importantes, suas características químicas e físicas, as suas limitações ao uso agrícola e o seu potencial de uso das terras.

2 Caracterização ambiental

A região de Pelotas (Figura 1) está sob influência do clima subtropical (Cfa – classificação de Köppen) (Alvares et al., 2013), com temperaturas médias de 17,5 °C e precipitação anual em torno de 1.405 mm (Maluf, 2000). A área avaliada

está localizada no ambiente geoclimático do Litoral Sul do Rio Grande do Sul, inserida na região fisiográfica da Planície Costeira, a qual pode ser dividida em Planície Costeira Interna e Externa. A Planície Costeira Interna situa-se entre a encosta Leste do Escudo Cristalino e a Laguna dos Patos, ao passo que a Planície Costeira Externa se estende junto ao Oceano Atlântico (Streck et al., 2018).

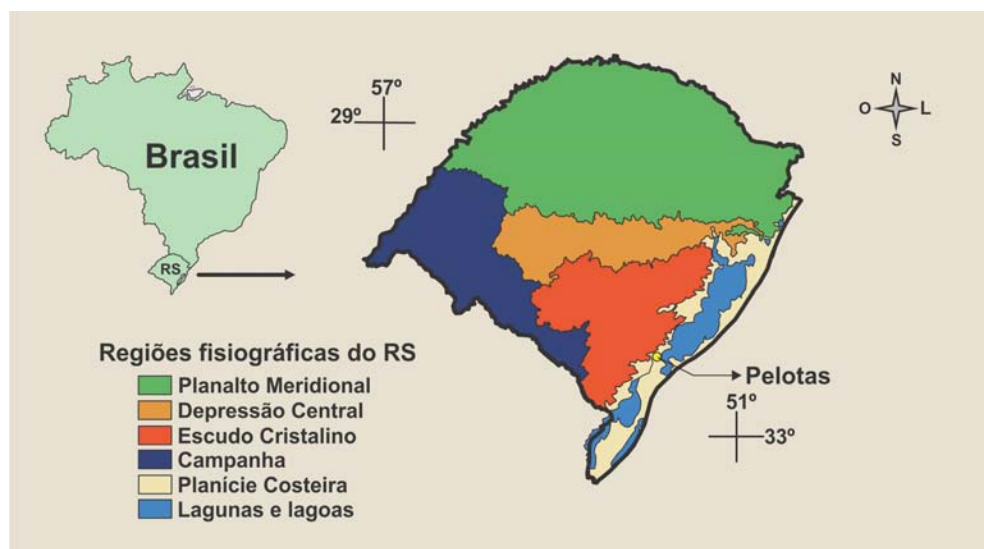


Figura 1. Localização da região fisiográfica da Planície Costeira e da região de Pelotas, RS. Fonte: Dos autores.

A Planície Costeira é formada por depósitos de sedimentos inconsolidados com altitudes inferiores a 40 metros. Sua gênese ocorreu a partir de sucessivos ciclos de avanço (transgressão) e recuo (regressão) do nível do mar, com o re-trabalhamento dos sedimentos da porção superior da Bacia de Pelotas, expostos pelas oscilações glacioeustáticas ao longo do Neógeno. Deu-se origem, assim, a uma paisagem com predomínio de feições praiais, lagunas e cordões arenosos (Pedron e Dalmolin, 2019).

A combinação dos ciclos de avanço e recuo do nível do mar e as características físicas da costa gaúcha resultaram na estruturação da Planície Costeira em um sistema de leques aluviais e quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Villwocke Tomazelli, 1995). Os depósitos sedimentares dos sistemas laguna-barreira I, II e III são de idades pleistocênicas, ao passo que os depósitos do sistema IV formaram-se nos últimos 5.000 anos, ou seja, no Holoceno (Figura 2).

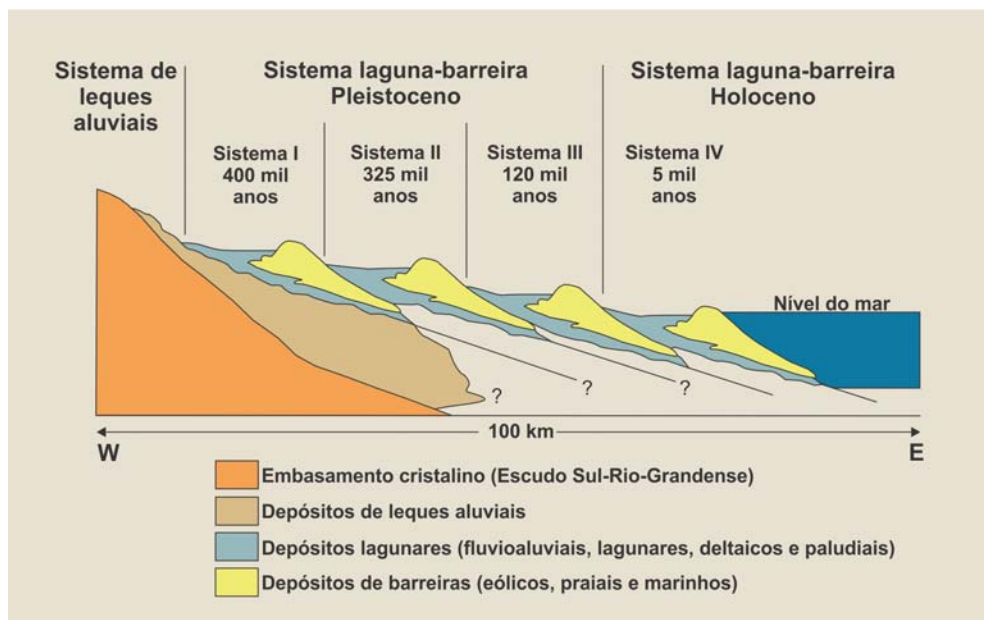


Figura 2. Esquema de formação da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: Adaptado de Villwock e Tomazelli (1995).

3 Relação solo-paisagem

A Planície Costeira do RS caracteriza-se por apresentar relevo predominantemente plano (Figura 3), com presença frequente de dunas ao longo da costa. A região toda apresenta uma grande diversidade de solos. Em cotas mais altas e com relevo suave ondulado, podem ocorrer Argissolos e Chernossolos. Já em áreas de relevo plano, predominam Planossolos, Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos (Streck et al., 2018).

Na região entre Pelotas e o distrito de Quinta, ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos arênicos abruptos, denominados Unidade de Mapeamento (UM) Tuia, ocupando coxilhas com relevo suave ondulado. É comum a presença de plintitas e petroplintitas nos solos que apresentam gradiente textural elevado, geralmente em volume inferior àqueles necessários para diagnosticar um horizonte plântico ou litoplântico (Santos et al., 2018).

Em áreas com relevo plano, nos terraços superiores ocorrem os Planossolos Háplicos Eutróficos solódicos (UM Pelotas) (Figura 4). Já nos terraços inferiores, nas margens do canal São Gonçalo (que faz a ligação da Lagoa Mirim com a Lagoa dos Patos), é comum a ocorrência dos Planossolos Nátricos Órticos gleissólicos, denominados Unidade Taxonômica (UT) Mangueira e dos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos típicos (UM Lagoa).



Figura 3. Paisagens da região de Pelotas, RS, com destaque para o relevo plano em área próxima à Laguna dos Patos (a) e em área de inundação do canal São Gonçalo (b). Fonte: Dos autores.

4 Dados pedológicos

O Litoral Sul do RS apresenta uma grande diversidade de solos, mesmo com o predomínio do relevo plano e de sedimentos inconsolidados como material de origem (Pinto et al., 2017). Na região também ocorrem Organossolos Tiomórficos e Gleissolos Melânicos, por vezes em associações, como descrito no *Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do RS* (Brasil, 1973). Os solos mais expressivos na área entre o município de Pelotas e o distrito de Quinta, na margem esquerda do canal São Gonçalo, são apresentados no Quadro 1.

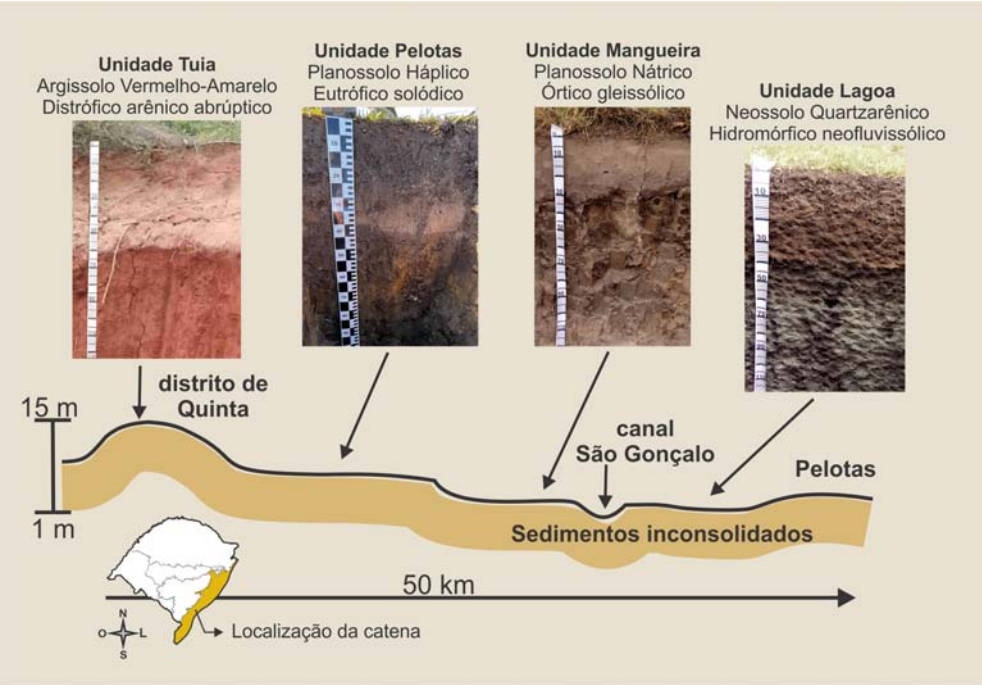


Figura 4. Catena típica da região de Pelotas sentido distrito de Quinta. Fonte: Dos autores.

Quadro 1. Principais solos da região de Pelotas e distrito de Quinta no Litoral Sul do RS.

Solo (1,2)	UM (2, 3)	Área (ha) (3)	% da área do Estado
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico abrupto	Tuia	179.500	0,67
Planossolo Háptico Eutrófico solódico	Pelotas	732.000	2,72
Planossolo Nátrico Órtico gleissólico	Mangueira	136.500*	0,50
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico neofluvisólico	Lagoa	51.000	0,19

Fonte: (1) Santos et al. (2018), (2) Streck et al. (2018), (3) Brasil (1973). * Essa área corresponde às associações de solos Taim-Mangueira e Lagoa-Taim-Mangueira (Brasil, 1973).

4.1 Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos arênicos abrupticos (UM Tuia)

Esses solos têm como principal característica a textura arenosa, principalmente nos horizontes superficiais. O horizonte A apresenta classe textural areia. No horizonte B, a textura varia de francoarenosa até franco-argiloarenosa (Figura 5).

São encontrados associados com Plintossolos, e sua ocorrência na paisagem se concentra em cotas superiores às dos Planossolos (UM Pelotas). Apresentam sequência de horizontes A-E-Bt-C, ocorrendo geralmente a presença de horizontes transicionais como, por exemplo, EB, BE, BC e CB.

Seu material de origem são sedimentos arenosos dos depósitos de barreira pleistocênicos. São solos pobres em matéria orgânica e nutrientes e com baixa CTC (Quadro 2). O horizonte A é muito espesso, seguido de horizonte E bem desenvolvido, sempre com textura arenosa na superfície, até profundidades superiores a 80 cm (arênico) e até mais de 100 cm (espessarênico).

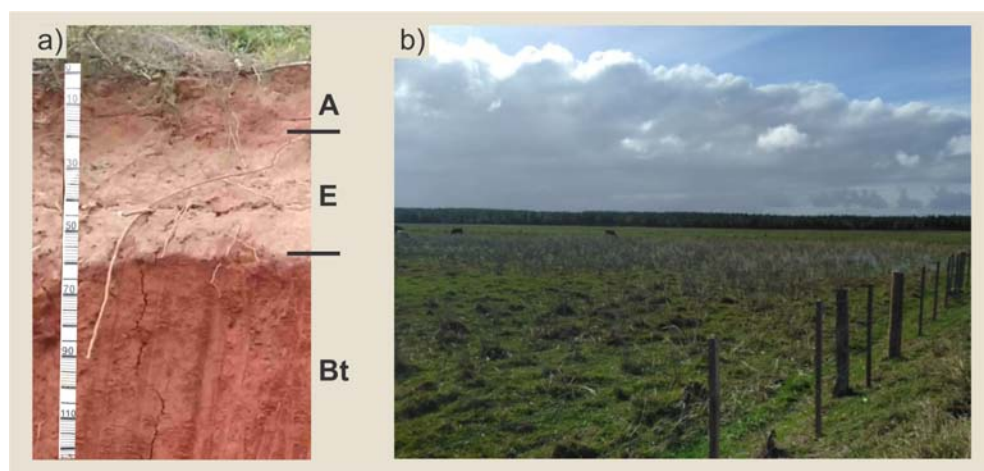


Figura 5. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico abruptico. A imagem do perfil não pertence ao solo do Quadro 2. Fonte: Dos autores.

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico abrupto. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-30	370	430	80	20	4,00
E1	30-38	250	460	80	10	8,00
E2	38-100	340	480	70	10	7,00
BE	100-123	270	450	100	180	0,55
Bt	123-160	260	420	40	280	0,14
BC	160-200	290	440	20	250	0,08
C	200-260+	450	370	20	160	0,12

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,7	0,6	0,6	0,03	0,03	0,9	0,2	1,6
E1	5,6	0,5	0,5	0,02	0,04	0,4	0,2	1,0
E2	6,0	0,5	0,5	0,03	0,04	0,3	0,0	0,9
BE	5,1	0,9	0,8	0,10	0,07	2,7	1,2	4,6
Bt	4,9	0,9	1,0	0,12	0,06	5,1	3,0	7,2
BC	5,0	0,5	0,9	0,11	0,05	5,5	3,5	7,1
C	4,6	0,9	0,9	0,07	0,04	4,0	2,5	5,0

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	22	44	8,0	1,6
E1	25	60	3,0	0,3
E2	0	67	3,0	0,1
BE	39	41	14,0	1,6
Bt	59	29	3,0	1,8
BC	69	23	3,0	1,8
C	71	20	3,0	0,6

4.2 Planossolos Háplicos Eutróficos solódicos (UM Pelotas)

Esses solos são derivados de sedimentos lagunares e lacustres pleistocênicos e são encontrados em áreas planas e suave onduladas, onde o B plânico, com sua

baixa permeabilidade, controla o excesso de água permanente ou temporário.

Têm como característica principal a presença de um tipo especial de horizonte B textural, com incremento de argila do horizonte A ou E para o B em uma pequena distância vertical, configurando a mudança textural abrupta. Esse tipo especial de horizonte B está associado a cores amareladas, acinzentadas ou escurecidas, que refletem uma baixa permeabilidade, e é chamado de horizonte B plânico (Figura 6). Quanto à drenagem, são solos mal a imperfeitamente drenados, em geral com sequência de horizontes A-Btg-Cg (Quadro 3) ou A-E-Btg-Cg. O solo da UM Pelotas possui saturação por sódio com valores entre 6 e 15% dentro de 120 cm da superfície do solo, configurando caráter solódico. Apresenta grande variação com relação à fertilidade, sendo, no geral, um solo ácido, com saturação por bases trocáveis baixa, na camada superficial, e alta no horizonte B, juntamente com argila de atividade alta.

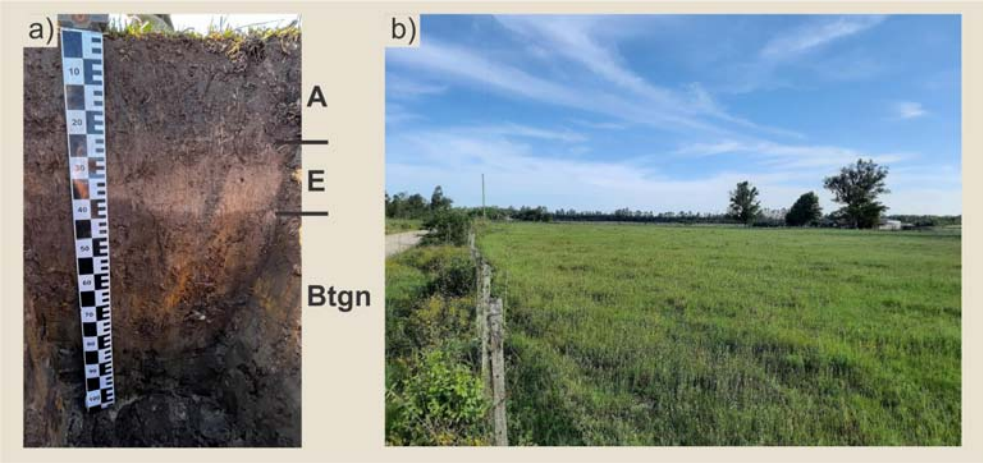


Figura 6. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Planossolo Háplico Eutrófico solódico. A imagem do perfil não pertence ao solo do Quadro 3. Fonte: Dos autores.

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Planossolo Háplico Eutrófico solódico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-23	320	120	360	190	1,89
A2	23-40	390	110	360	140	2,57
Btgn	40-80	220	80	280	420	0,67
BC	80-110	260	90	310	340	0,91

Quadro 3. Continuação.

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,4	1,8	1,3	0,07	0,29	2,1	1,1	6,7
A2	5,0	1,1	0,6	0,06	0,17	2,2	1,3	5,4
Btgn	5,3	5,0	4,6	0,12	0,75	1,8	1,3	13,6
BC	5,1	4,2	3,5	0,13	0,64	1,3	0,6	10,4

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	24	52	3	4,8
A2	41	35	5	8,6
Btgn	11	77	1	2,8
BC	7	82	1	1,4

4.3 Planossolos Nátricos Órticos gleissólicos (UT Mangueira)

São solos que ocorrem nas cotas mais baixas do relevo e caracterizam-se pela presença de um horizonte com cores cinzentas ou cinzento-oliváceas (Figura 7), definido como horizonte glei, o qual geralmente inicia dentro de 50 cm da superfície do solo (Santos et al., 2018).

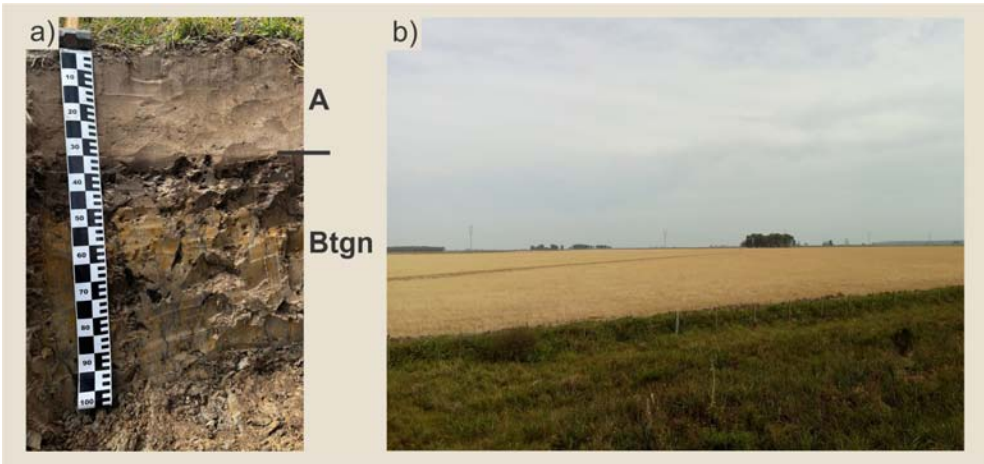


Figura 7. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Planossolo Nátrico Órtico gleissólico. A imagem do perfil não pertence ao solo do Quadro 4. Fonte: Dos autores.

São solos medianamente profundos, mal a muito mal drenados (Figura 7), com permeabilidade muito baixa, presença de horizonte A bem desenvolvido e horizonte B plânico com mais que 15% de sódio trocável (Btgn). Possuem altos valores de soma e de saturação por cátions trocáveis (eutróficos), apresentam argila de atividade alta a média e altos teores de matéria orgânica (Quadro 4).

A formação desses solos reflete fortemente um ambiente de redução, no qual a saturação por água se dá por um longo período do ano. Apresentam textura média ou argilosa ao longo do perfil. Ocorrem frequentemente associados aos Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos e aos Organossolos Tiomórficos.

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Planossolo Nátrico Órtico gleissólico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-11	150	160	450	240	1,87
Btgn1	11-21	90	90	400	420	0,95
Btgn2	21-38	20	60	490	430	0,73
Btgn3	38-73	10	20	480	490	0,73
Btgn4	73-93	30	110	340	520	0,65
Cg	93-100+	320	600	40	40	1,00

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,2	25,0	1,6	1,10	2,8	20,9	0	51,4
Btgn1	5,5	16,9	10,3	1,10	3,5	14,7	0	46,5
Btgn2	6,5	17,2	13,0	1,00	5,5	6,9	0	43,6
Btgn3	7,1	19,9	12,1	1,00	8,7	3,7	0	45,4
Btgn4	8,0	26,2	11,9	1,00	8,4	4,4	0	51,9
Cg	8,0	4,0	3,2	0,20	0,4	0,0	0	7,8

Quadro 4. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	0	59	4	80,4
Btgn1	0	68	18	49,0
Btgn2	0	84	15	11,8
Btgn3	0	92	9	4,9
Btgn4	0	92	7	2,8
Cg	0	100	5	2,5

4.4 Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos neofluvissólicos (UM Lagoa)

São solos arenosos, imperfeitamente a mal drenados, medianamente profundos a profundos (Figura 8). Apresentam sequência de horizontes A-C, com o horizonte A escuro e rico em matéria orgânica, e o horizonte C de cores acinzentadas e com caráter solódico ou sódico (Cgn). A distribuição errática da fração areia indica a presença do caráter flúvico, caracterizando os neofluvissólicos no quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

Por mais que esses solos tenham altos teores de matéria orgânica, o que resulta em alta CTC (Capacidade de Troca de Cátions), a soma e a saturação por bases trocáveis são baixas, caracterizando uma baixa fertilidade natural (Quadro 5).

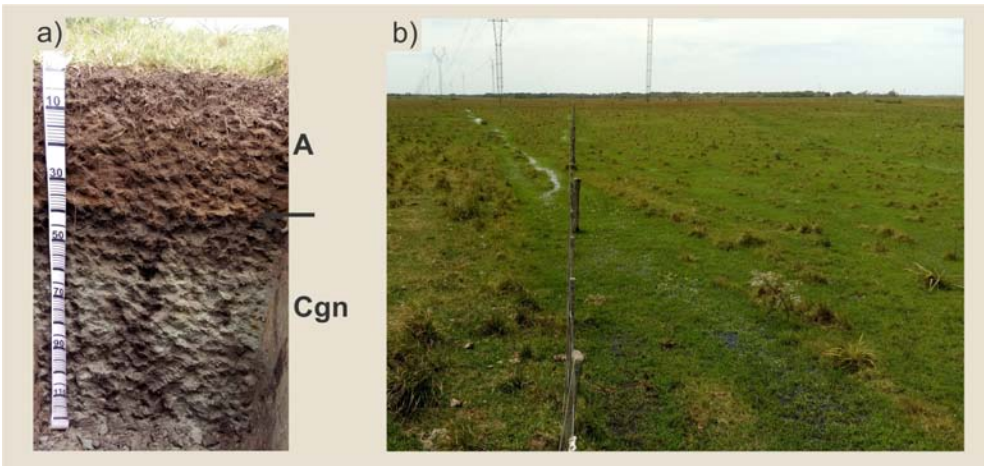


Figura 8. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico neofluvissólico. A imagem do perfil não pertence ao solo do Quadro 5. Fonte: Dos autores.

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico neofluvis-sólico. Dados extraídos de Brasil (1973).

Horizon-tes	Profundi- dade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Ap	0-10	60	660	230	50	4,60
An	10-27	70	650	230	50	4,60
Cgn1	27-53	60	630	200	110	1,81
Cgn2	53-75	60	610	200	130	1,61
Cgn3	75-124	30	600	240	130	1,85
Cgn4	124-154	100	730	140	90	1,55
2Cgn	154-160+	80	210	370	34	1,08

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
Ap	4,9	2,2	1,7	0,40	0,30	3,5	0,2	8,3
An	5,1	1,7	0,2	1,10	0,40	2,5	0,2	5,1
Cgn1	5,8	3,0	3,1	0,20	1,60	3,5	0,1	11,3
Cgn2	6,9	3,4	3,6	0,20	2,70	1,4	0,0	11,4
Cgn3	7,3	3,0	4,6	0,20	2,20	0,0	0,0	10,0
Cgn4	7,3	1,9	3,5	0,20	1,20	0,0	0,0	6,8
2Cgn	7,0	7,6	6,1	0,60	2,90	0,0	0,0	17,2

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Ap	4	55	4	27,4
An	7	47	23	7,3
Cgn1	1	70	15	4,8
Cgn2	0	88	11	2,2
Cgn3	0	100	9	1,2
Cgn4	0	100	12	1,5
2Cgn	0	100	6	1,3

5 Feições morfológicas típicas

Uma das principais características morfológicas dos Planossolos é a presença de um horizonte B plânico de textura naturalmente mais adensada (Figura 9), conferindo ao solo um elevado gradiente textural, o que caracteriza a mudança textural abrupta. Esse atributo é um dos critérios diagnósticos para a classificação dos Planossolos, mas também pode ocorrer em alguns Argissolos, principalmente aqueles da região do Litoral Sul do RS como, por exemplo, no caso da UM Tuia.

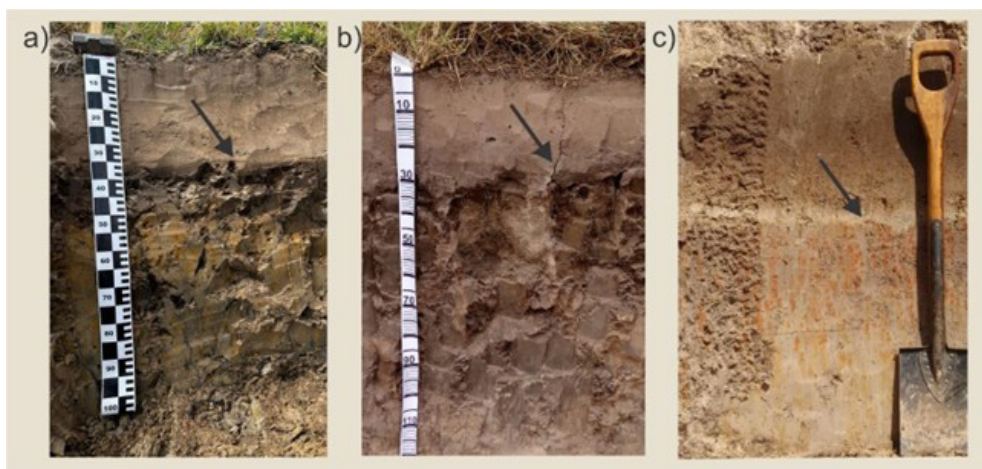


Figura 9. Planossolo Nátrico (a e b) e Planossolo Háplico (c) com presença de mudança textural abrupta indicada pelas setas. Fonte: Dos autores.

Também é comum, na região de Pelotas, a ocorrência em alguns Planossolos, de estrutura prismática, especialmente do subtipo colunar (Figura 10). Esse tipo de estrutura em geral está associada a altos teores de sódio trocável, em especial no horizonte B plânico, juntamente com a presença significativa de argilomineerais 2:1. Essa estrutura também pode ser encontrada, com menor expressão, em alguns Gleissolos e Argissolos, associada à presença de argilominerais 2:1.

Outra feição morfológica muito comum nos solos da região litorânea do RS refere-se aos mosqueados. Essa feição morfológica é resultante dos processos de oxirredução, devido à flutuação do lençol freático na região. O mosqueado é identificado pela presença de duas ou mais cores, geralmente de colorações laranja ou amareladas sobre matriz acinzentada (Figura 11).

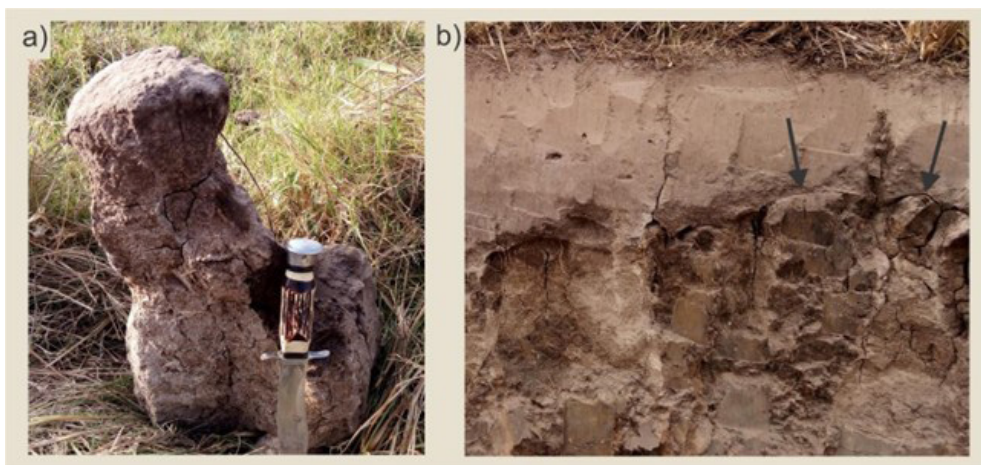


Figura 10. Estruturas prismáticas do tipo colunar (a) encontradas em solos com caráter sódico (b) no município de Pelotas. As setas (b) indicam a extremidade superior arredondada das estruturas colunares em um Planossolo Nátrico. Fonte: Dos autores.



Figura 11. Mosqueados em Planossolo Nátrico (a e b) no município de Pelotas. Fonte: Dos autores.

6 Limitações de uso agrícola

Os Planossolos da região de Pelotas são solos, predominantemente, hidromórficos que podem ter restrições à drenagem, apresentando riscos de inundações. Por vezes, quando ocorrem em depressões do terreno, onde o lençol tende a manter-se à superfície ou próximo dela, por períodos muito prolongados, dificultando

tam o manejo e o uso de maquinário e implementos agrícolas.

Os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos apresentam severas restrições para o uso agrícola, tanto com arroz irrigado quanto com outras culturas, devido à ocorrência de alagamentos, pois são localizados nas partes mais baixas da paisagem (Figura 4). Quando drenados podem tornar-se muito susceptíveis à erosão eólica, principalmente pela sua fraca estrutura. Sua textura arenosa também está associada à baixa fertilidade natural e a uma maior suscetibilidade à lixiviação de nutrientes.

Outra limitação dos solos hidromórficos encontrados na região está associada à elevada saturação por sódio. Os elevados teores de sódio promovem a elevação do pH e resultam em desequilíbrio na disponibilidade e absorção de nutrientes, prejudicando o desenvolvimento vegetal e a produção de grãos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos profundos e bem drenados que apresentam elevada suscetibilidade aos processos erosivos devido à sua textura arenosa no horizonte A+E. Essa textura também condiciona maior perda de nutrientes e baixa fertilidade natural, além de baixa retenção de água.

7 Potencial de uso das terras

Os Planossolos possuem boa aptidão agrícola para o cultivo de arroz no sistema irrigado por lâmina d'água. Também têm sido amplamente utilizados para o cultivo de culturas de sequeiro, conhecido como cultivo em terras baixas (Figura 12). Essa prática tem beneficiado o sistema de produção orizícola da região porque permite a rotação de culturas e eliminação de plantas invasoras prejudiciais à cultura do arroz irrigado, especialmente do arroz vermelho. No entanto, esses solos, quando utilizados com cultivos de sequeiro, podem apresentar problemas de drenagem em anos com precipitação acima da média histórica, limitando consideravelmente o desenvolvimento de plantas e a produtividade.

Os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos são solos ambientalmente frágeis. Por isso, a utilização mais indicada para esses solos e que causa menos impactos seria com pastagem natural. Em algumas áreas, onde o lençol freático situa-se próximo à superfície do solo, podem ser usados com o cultivo de arroz irrigado. Qualquer uso agrícola de sequeiro é limitado pelo elevado risco de inundação.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos com bom potencial agrícola. Por ocorrerem em posição mais elevada na paisagem, não correm riscos de inundação. São solos bem drenados que podem ser usados para o cultivo anual de grãos, mas que exigem práticas conservacionistas complexas para o seu uso sustentável.

vel. Seu uso agrícola deve prever períodos de déficit hídrico, quando a irrigação passa a ser uma prática importante para viabilizar boas produtividades. Esses solos também apresentam potencial para horticultura, fruticultura, pastagens e reflorestamento.

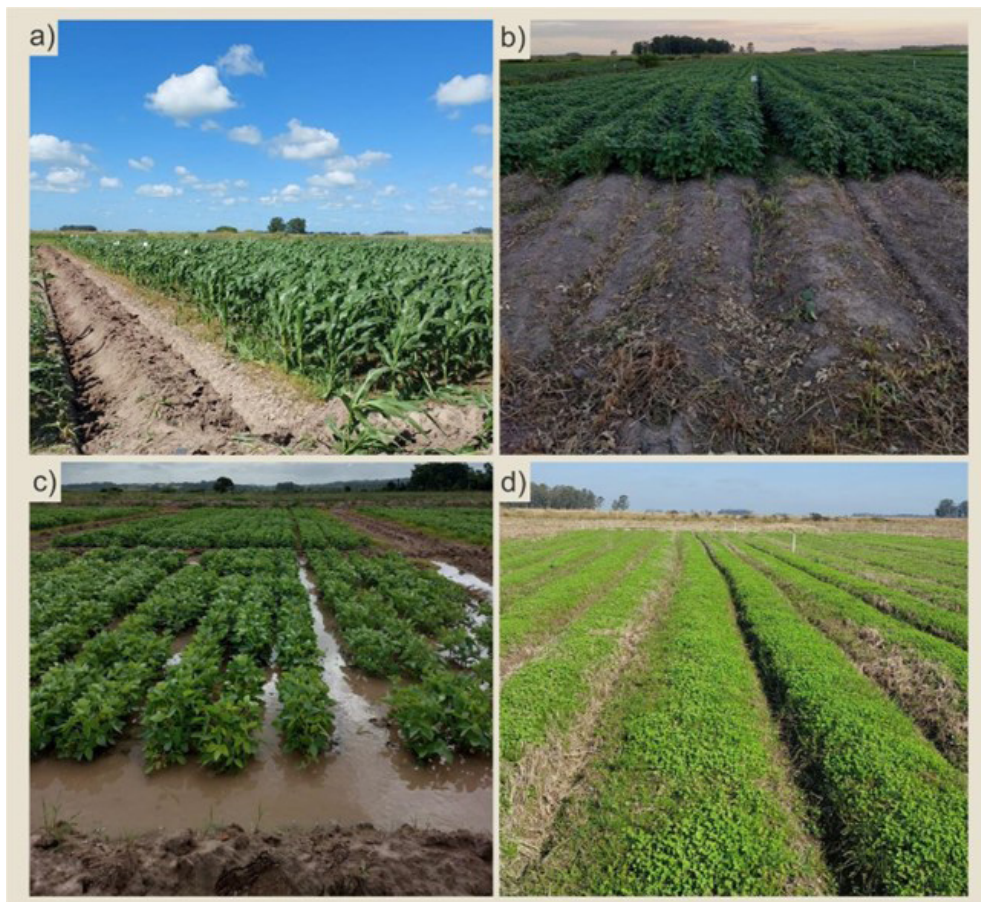


Figura 12. Sistema de rotação de culturas em solos de várzea com milho (a), soja (b e c) e trevo-persa (d) no sistema sulco-camalhão. Fonte: Professor Filipe Selau Carlos.

8 Considerações finais

Os solos do Litoral Sul gaúcho são caracterizados principalmente pela drenagem deficiente e pela textura superficial arenosa. São mal a imperfeitamente drenados, devido à presença do lençol freático próximo à superfície e a sua textura mais grossa, decorrente do material que deu origem a esses solos – de maneira geral,

depósitos sedimentares dos sistemas laguna-barreira de idades Pleistocênica e Holocênica. Podem ser considerados solos frágeis ambientalmente, em especial aqueles cuja localização se dá próximo aos corpos d'água, abundantes na região litorânea do RS.

Por serem solos mais arenosos com baixa reserva de nutrientes e limitada capacidade de retenção de água, o manejo inadequado pode causar sua degradação. Áreas que antes eram somente utilizadas com o arroz no sistema irrigado, hoje estão cada vez mais sendo usadas em sistemas de cultivos com rotação de culturas de sequeiro, agregando diversidade biológica e valor econômico, o que beneficia a agropecuária regional.

9 Referências

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JL, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22:711–728, 2013.

Brasil. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

Maluf JRT. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. *R Bras Agrometeorol*. 2000; 8:141-50.

Pedron FA, Dalmolin RSD. Solos do Bioma Pampa Brasileiro. Ed. UFSM: Santa Maria. 2019. 280p.

Pinto LFS, Miguel P, Pauletto EA. Solos de várzeas e terras baixas. In: Emygdio BM, Rosa APSA, Oliveira, ACB. (Org.). Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul. 1ed. Brasília: Embrapa, 2017, p. 23-44.

Santos HG, Jacomine P, Anjos L, Oliveira V. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

Streck EV, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Giasson E, Pinto LFS. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS, 2018. 252p.

Villwock JA, Tomazelli LJ. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, 8: 1-45, 1995.



Solos do Pantanal Norte

Alexandre Ferreira do Nascimento.

Embrapa Trigo

1 Introdução

O Pantanal é um ecossistema rico e complexo importante para a conservação e manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos, abrigando rica fauna, incluindo espécies ameaçadas, aves migratórias e outras espécies que dependem de suas águas sazonais. Além de seu valor ecológico, o Pantanal sustenta também atividades econômicas, como o ecoturismo e a pecuária extensiva, que, quando manejadas de forma sustentável, impactam positivamente a sócioeconomia e contribuem para a conservação do bioma. Ademais, garante importantes serviços ambientais, como a regulação de enchentes, a purificação de água e o sequestro de carbono, fundamentais para o bem-estar humano e o combate às mudanças climáticas (Clarkson et al., 2013; Santos et al., 2020). Tudo isso é possível devido a suas peculiaridades ambientais, seus sedimentos e sua paisagem (Assine et al., 2015), os quais modulam os ciclos de inundação, que refletem na distribuição complexa dos solos. Assim, o entendimento dos solos desta região – sua formação e características – é importante e contribui para o manejo sustentável dessa grande planície.

Nos últimos anos, com investimentos e o surgimento de instituições e formação de grupos de pesquisas, muito se avançou no conhecimento do Pantanal brasileiro. Contudo, a compreensão da distribuição espacial dos solos na paisagem do Pantanal é uma tarefa difícil, pois decorre das mudanças dos fatores e processos pedogenéticos impostas pelos sistemas deposicionais responsáveis pela modelagem da paisagem e pela dinâmica de inundação (Nascimento, 2012).

Os estudos feitos no Pantanal Norte registraram a ocorrência de diversas classes de solos – Planossolos, Luvisolos, Plintossolos, Gleissolos, Vertissolos, Neossolos e Cambissolos – as quais se distribuem associadas a diferentes formas de relevo e ambientes de inundação (Orioli et al., 1982; Sousa, 2003; Ferreira Júnior, 2009; Beirigo et al., 2011; Nascimento, 2012; Beirigo, 2013; Nascimento et al., 2013; Nascimento et al., 2015; Oliveira Junior, 2015; Couto et al., 2017; Oliveira Junior et al., 2017; Oliveira Junior et al., 2019; Couto et al., 2023).

Nesse sentido, o presente capítulo busca reunir os avanços nos estudos de solos do Pantanal Norte e destacá-los de maneira concisa, agregando elementos referentes aos sistemas deposicionais que ocorrem nessa região. Além dos estudos recentes, principalmente nos últimos 20 anos, destacam-se os estudos realizados no âmbito do RADAMBRASIL (Orioli et al., 1982), que fornecem dados valiosos para a melhor compreensão dos ambientes no território brasileiro.

néticos relacionados.

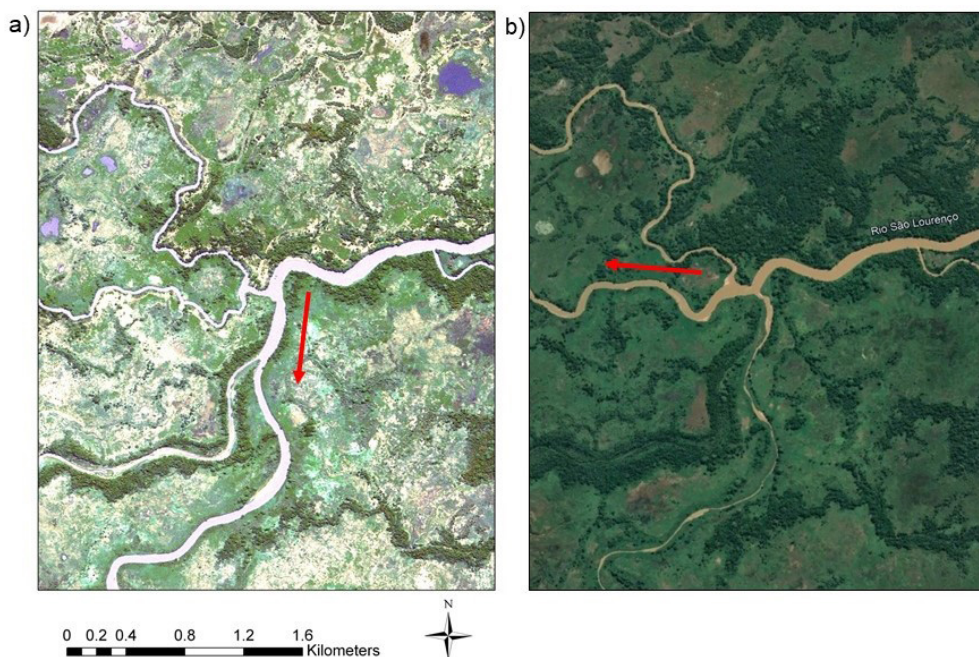


Figura 2. Processo de mudança de fluxo principal do canal do Rio São Lourenço, Pantanal Norte: a) imagem de 2008 mostrando maior fluxo para o sul; b) imagem de 2022 mostrando maior fluxo do rio para oeste. Imagens retiradas do Google Earth®. Fonte: Compilação do autor.

Quanto ao processo de avulsão dos rios e sua importância para o entendimento da paisagem, destaca-se a avulsão ocorrida entre 2015 e 2021 no rio São Lourenço (Figura 3), em que se observa a quantidade de depósitos arenosos visíveis por satélite, bem como sua área ocupada. Esses depósitos foram relatados em vários estudos de solos no Pantanal (Nascimento, 2012; Beirigo, 2013; Nascimento et al., 2013; Oliveira Junior, 2015), contribuindo para a caracterização do ambiente e para o entendimento da complexidade dos processos responsáveis pela modelagem da paisagem pantaneira.



Figura 3. Imagem de avulsão de canal (rompimento de dique) no rio São Lourenço (19°59'32,31"S-56°26'31,57"W) ocorrida entre 2015 e 2021, a qual gerou depósitos arenosos nas porções mais baixas e erodiu as feições mais elevadas na paisagem. Imagem retirada do Google Earth®. Fonte: Compilação do autor.

3 Relação solo-paisagem

Para compreender a distribuição dos solos na paisagem pantaneira é indispensável entender o sistema deposicional que originou os pacotes sedimentares e suas respectivas formas na paisagem. No Pantanal Norte destacam-se dois tipos de sistemas deposicionais – leques fluviais e planícies – e dentro de cada um ocorrem feições geomorfológicas próprias. Em geral, os sistemas levam o nome do rio principal que deu origem aos depósitos. Neste caso, Assine et al. (2015) mapearam os leques fluviais de Cáceres, Cuiabá e São Lourenço, assim como a planície fluvial do Paraguai (Figura 4).

Todos esses compartimentos receberam ou recebem influência de sedimentos e águas de drenagem dos planaltos que circundam o Pantanal, neste caso os compartimentos 1, 4 e 5 e seus respectivos rios que drenam cada compartimento (Figura 4). Importante destacar que os referidos compartimentos estão, predominantemente, entre 500 m e 800 m de altitude em relação ao nível médio do mar (MSL), ao passo que os compartimentos do Pantanal Norte estão entre 90 e 150 m MSL.

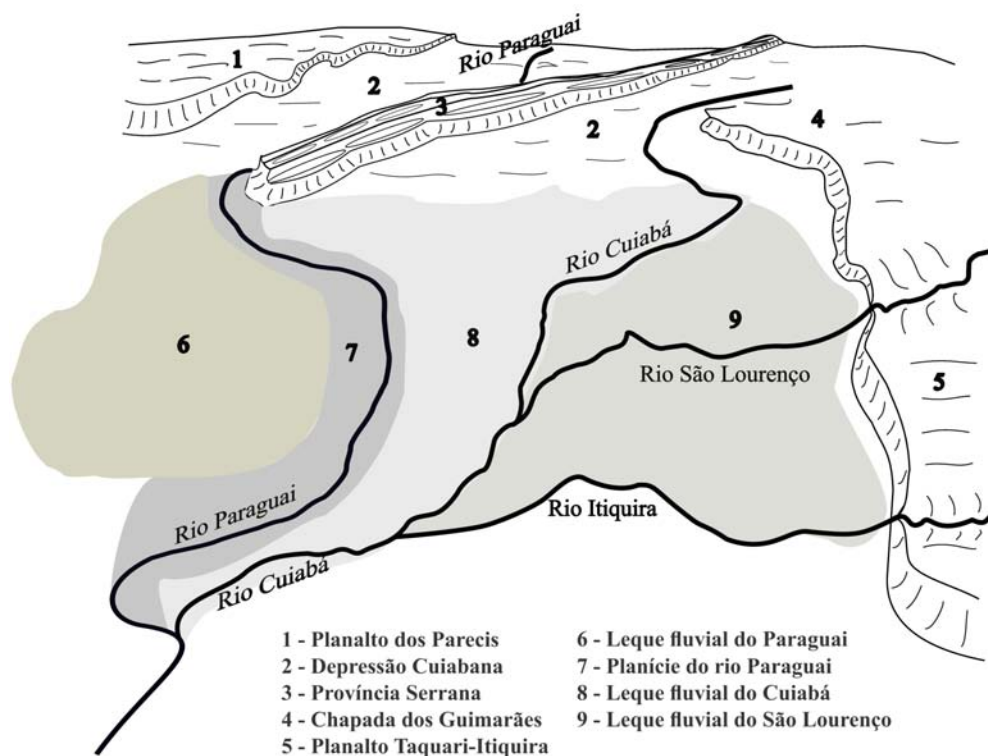


Figura 4. Compartimentos geomorfológicos do Pantanal Norte e suas respectivas áreas de influência: planaltos, chapadas e serras. Fonte: Adaptado de Assine et al. (2015).

No leque fluvial do Paraguai (compartimento 6 da Figura 4), nas feições inundáveis – campo de inundação, ocorrem os Plintossolos Argilúvicos e, nos locais que não inundam, ocorrem os Planossolos, predominantemente Nátricos (saturação por Na $\geq 15\%$), ou os Háplicos Eutróficos ($V\% \geq 50$) em menor proporção. Os Neossolos Quartzarênicos também ocorrem em locais não inundáveis, mas em menor quantidade do que os Planossolos (Orioli et al., 1982).

Na planície do rio Paraguai (compartimento 7 da Figura 4), são observadas muitas lagoas e canais abandonados. Nesse compartimento predominam os Gleissolos Háplicos Alumínicos, mas podem ocorrer também os Neossolos e Cambissolos Flúvicos (Orioli et al., 1982). Em locais ligeiramente mais baixos, onde acumula argila mais fina, suspensa em água com menor energia, ocorrem os Vertissolos ou solos com características vérticas (Orioli et al., 1982; Couto et al., 2023).

A distribuição dos solos das paisagens dos compartimentos 8 e 9, leques fluviais do Cuiabá e São Lourenço, respectivamente, segue os padrões descritos nos compartimentos 6 e 7. Dentro dos leques 8 e 9 são observadas também planícies

fluviais associadas aos respectivos rios, onde ocorrem os Gleissolos e os Neossolos ou Cambissolos Flúvicos (Beirigo et al., 2011; Nascimento, 2012).

Nas demais feições dos leques predominam, nos locais não inundáveis, os Planossolos Nátricos e, nos inundáveis, os Plintossolos Argilúvicos, (Orioli et al., 1982; Beirigo et al., 2011; Nascimento, 2012). Ainda são observados, nos locais não inundáveis, os Luvisolos (Sousa, 2003; Beirigo et al., 2011; Oliveira Junior, 2015), Argissolos (Couto et al., 2023) e Neossolos Quartzarênicos (Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2015). Também podem ser observados, em ambientes que recebem inundações, os Neossolos Quartzarênicos (Ferreira Júnior, 2009; Nascimento et al., 2015) e Plintossolos Pétricos (Beirigo et al., 2011).

Os Neossolos Quartzarênicos, sob condições de hidromorfismo temporário, são oriundos da erosão de canal antigo, nos quais são observadas cores variadas em profundidade (Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2015). Assim, em alguns casos, esses solos podem ser classificados como Espodossolos.

4 Dados pedológicos

No Pantanal Norte predominam os Plintossolos (Figura 5), seguidos dos Planossolos e Gleissolos. Na porção nordeste também ocorrem os Argissolos. Embora não mapeados na Figura 5, os Neossolos Quartzarênicos e os Luvisolos ocorrem em menor proporção, em associação ou complexo com outras classes de solo.

Com base nesse mapa de solos e nos trabalhos consultados para a elaboração do presente capítulo, a seguir são detalhadas as classes de solo de maior ocorrência no Pantanal Norte.

4.1 Plintossolos Argilúvicos Distróficos gleissólicos

Os Plintossolos ocorrem em locais que recebem inundações periódicas com as cheias do Pantanal e possuem vegetação com gramíneas nativas ou introduzidas (Figura 6a e 6b). Na paisagem de campos de murundus, os solos dos montículos, não inundáveis, em geral são Planossolos, contudo os solos da base, nos campos inundáveis, são Plintossolos (Nascimento et al. 2015; Oliveira Junior et al., 2017).

Apesar de os Plintossolos Argilúvicos predominarem em mais de 95% dos solos pesquisados, registra-se também a ocorrência de Plintossolos Háplicos e Pétricos. Nos níveis de grande grupo e subgrupo, 3º e 4º níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, respectivamente, são observados também os atributos diagnósticos alumínico, gleissólico, eutrófico, abrupto e espesso (Orioli et al., 1982; Beirigo et al., 2011; Nascimento, 2012). Apresentam sequência de horizontes A-E-Btgf, com descontinuidades frequentes a partir deste

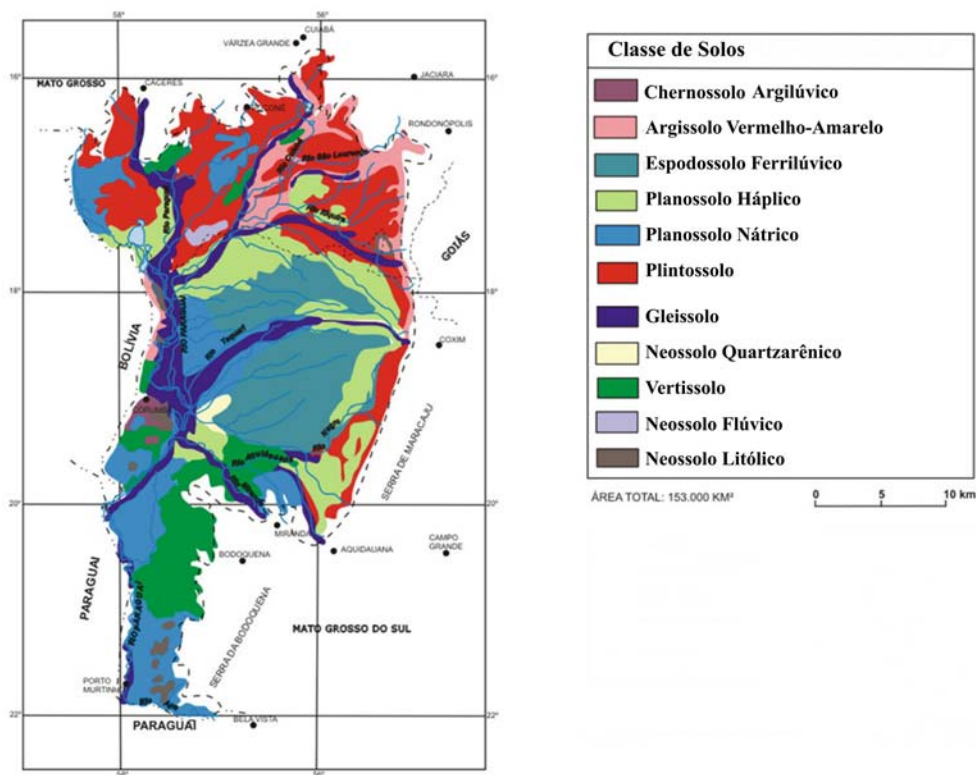


Figura 5. Mapa das classes de solos do Pantanal. Fonte: Couto et al., 2023 (adaptado de Amaral Filho, 1986).

último horizonte (Quadro 1). Há perfis desta classe de solo que não apresentam horizonte E (Beirigo et al., 2011).

Em geral, são argilúvicos, com alto teor de silte e, consequentemente, alta relação silte/argila, em especial nos horizontes A (Quadro 1). A textura do horizonte A varia de média a arenosa e, do horizonte B, média/argilosa. Esta classe de solo sempre apresenta algum horizonte com caráter aluminico, comum também a outras classes de solo do Pantanal.

Os mosqueados e nódulos de Fe e Mn são frequentes, principalmente no horizonte B, pelo fato de ocorrerem em locais mais baixos da paisagem, recebendo água das cheias dos rios e diretamente das precipitações.

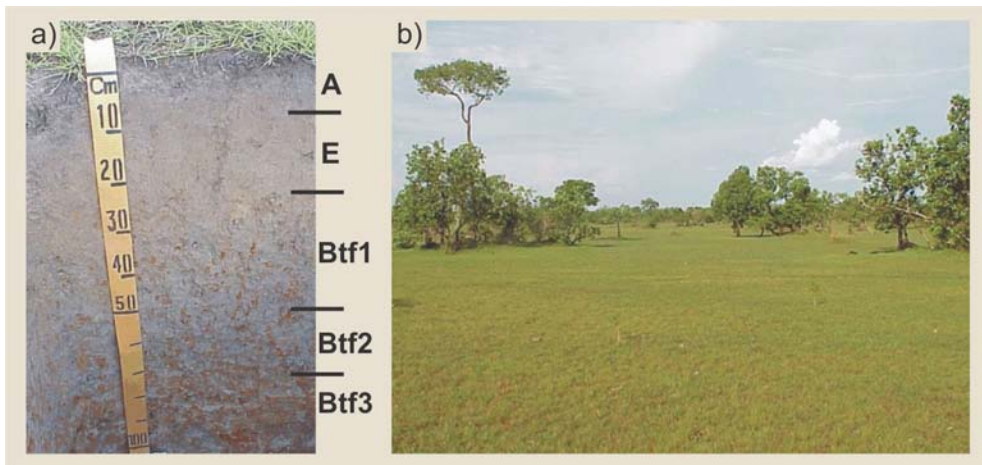


Figura 6. Perfil (a) e paisagem de campos de murundus (b) de ocorrência do Plintossolo Argilúvico Distrófico gleissólico no Pantanal Norte. Fonte: Couto et al. (2023).

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Plintossolo Argilúvico Distrófico gleissólico do Pantanal Norte, descrito no leque fluvial do rio Cuiabá, Pantanal de Poconé. Dados extraídos de Orioli et al. (1982).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-5	280	40	490	190	2,58
A2	5-15	310	70	450	170	2,65
E1	15-23	260	80	450	210	2,14
E2	23-40	160	50	430	360	1,19
Btg1	40-50	90	20	360	530	0,68
2Btgf2	50-115	180	30	390	400	0,97
2Btgf3	115-200	130	20	450	400	1,13

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,6	3,5	1,2	0,36	0,07	4,8	0	9,9
A2	5,4	2,3	0,5	0,16	0,04	3,3	0,2	6,5
E1	5,3	1,3	0,2	0,07	0,04	1,7	0,5	3,8
E2	5,5	1,7	0,9	0,05	0,06	2,2	1,9	6,8
Btg1	5,4	2,6	1,6	0,08	0,1	2,8	5,2	12,4
2Btgf2	5,5	2,6	1,9	0,09	0,1	2,3	3,7	10,7
2Btgf3	5,6	3	2,8	0,08	0,1	2,1	3,4	11,5

Quadro 1. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	0	52	17	16,0
A2	6	46	7	8,1
E1	24	42	4	2,8
E2	41	40	2	2,9
Btg1	54	35	2	3,5
2Btgf2	44	44	3	2,2
2Btgf3	36	52	2	1,3

4.2 Planossolos Nátricos Órticos gleissólicos

Os Planossolos Nátricos ocorrem em partes do relevo que não recebem águas de inundação, como nos compartimentos chamados de cordilheiras e murundus (Figura 7). Além dos Planossolos Nátricos, também são observados os Planossolos Háplicos, principalmente nos compartimentos do relevo não inundados e mais preservados, como cordilheiras (paleodiques) com depósitos mais recentes (Nascimento, 2012).

No 3º e 4º níveis categóricos dos Planossolos Nátricos são observados os caracteres distrófico, eutrófico, alumínico, gleissólico, plântico, arênico, espessarênico e solódico (Orioli et al., 1982; Beirigo et al., 2011; Nascimento, 2012; Oliveira Junior, 2015). Beirigo (2013) encontrou precipitações de carbonato de cálcio em Planossolo Nátrico Órtico arênico no leque fluvial do São Lourenço.

Embora o perfil aqui apresentado não possua horizonte E, em geral esses solos apresentam a sequência A-E-Btng (Quadro 2). A textura, no horizonte A, em geral, é arenosa/média, ao passo que, no horizonte B, é média/argilosa. O pH varia de moderadamente ácido, nos horizontes superficiais, a moderadamente alcalino nos horizontes B, também com saturação de sódio $\geq 15\%$, conforme estabelecido pelo SiBCS (Santos et al., 2018), caracterizando horizonte com caráter sódico (solos nátricos) (Quadro 2). Os teores de carbono e fósforo são baixos, embora eutróficos.

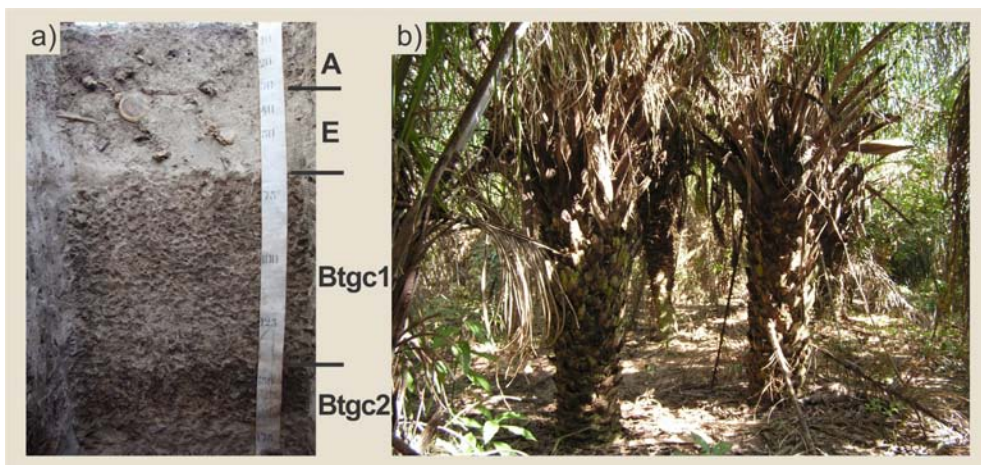


Figura 7. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Planossolo Nátrico Órtico gleissólico no Pantanal Norte. Fonte: Beirigo (2013).

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Planossolo Nátrico Órtico gleissólico do Pantanal de Poconé. Dados extraídos de Orioli et al. (1982).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-3	260	300	310	130	2,38
A2	3-22	240	270	310	180	1,72
Btgn1	22-45	40	30	400	530	0,75
Btgn2	45-85	90	40	320	550	0,58

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,5	1,2	0,9	0,41	0,17	2,2	0	4,9
A2	5,8	1,1	0,2	0,13	0,17	2,6	1,1	5,3
Btgn1	6,6	2,8	3,1	0,13	4,03	3	0,2	13,3
Btgn2	7,5	4,1	6,1	0,01	5,75	1,4	0	17,3

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	0	55	5	6,7
A2	41	30	1	4,7
Btgn1	2	76	1	5,5
Btgn2	0	92	1	2,4

4.3 Gleissolos Háplicos Tb Aluminicos típicos

Os Gleissolos ocorrem em porções do relevo mais baixas, sendo os primeiros a receberem as águas de inundação e os últimos a serem drenados no final das cheias (Figura 8). No 3º nível categórico do SiBCS também podem ser observados Gleissolos Ta Eutróficos e, no 4º nível, o caráter neofluvissólico (Beirigo et al., 2011).

Estão associados às planícies de inundação atuais de todos os grandes rios: Paraguai, Cuiabá e São Lourenço. Em geral, apresentam sequência de horizontes A-Bg ou A-Cg, horizontes de textura argilosa ou muito argilosa, com alguns de textura média, indicando descontinuidade, além de elevados teores de silte (Quadro 3).

Esses solos apresentam argila de baixa atividade, elevada saturação por alumínio e reação do solo fortemente ácida. Os teores de carbono na superfície podem ser elevados, reflexo da baixa decomposição da matéria orgânica devido à saturação por água em um período do ano e à proteção proporcionada pelos elevados teores de argila.

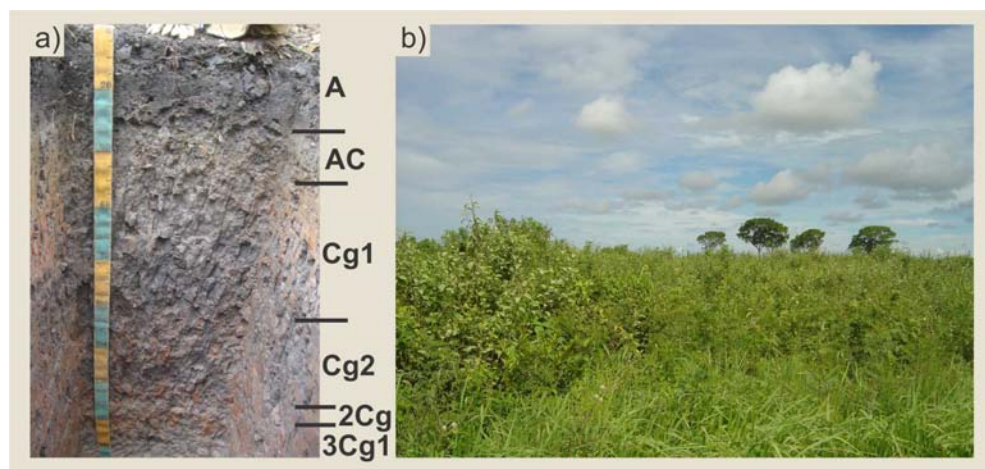


Figura 8. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Gleissolo Háptico Tb Aluminico típico no Pantanal Norte. Fonte: Nascimento (2012).

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Gleissolo Háplico Tb Aluminico típico. Leque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal de Barão de Melgaço. Dados extraídos de Nascimento (2012).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-30	11	33	266	689	0,39
AC	30-50	12	59	491	438	1,12
Cg1	50-105	2	15	326	657	0,50
Cg2	105-150	10	48	315	628	0,50
2Cg	150-157	42	623	106	228	0,47
3Cg1	157-170	11	226	404	360	1,12
3Cg2	170-200+	287	488	75	151	0,49

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	4,65	3,3	1,8	1,0	0,2	11,7	3,5	21,4
AC	4,44	0,6	0,4	0,2	0,0	4,7	5,3	11,2
Cg1	4,68	0,9	0,5	0,2	0,1	3,1	11,9	16,7
Cg2	4,91	1,5	0,8	0,2	0,1	3,4	8,8	14,7
2Cg	4,95	0,4	0,4	0,1	0,0	1,5	2,6	5,0
3Cg1	4,86	1,1	0,7	0,1	0,0	3,1	4,7	9,8
3Cg2	4,97	0,4	0,3	0,0	0,0	1,3	1,1	3,2

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	36,3	29,0	2,19	31,8
AC	81,3	10,8	0	8,4
Cg1	87,5	10,1	0	5,6
Cg2	77,8	17,2	0	4,8
2Cg	73,7	18,2	0	1,6
3Cg1	70,5	20,2	0	2,9
3Cg2	58,0	24,2	0,25	1,4

4.4 Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos plintossólicos

A depender da posição na paisagem, podem ou não ser inundáveis atualmente (Figura 9). São mais frequentes em cordilheiras ou em suas bordas que foram erodidas e passaram a ser inundadas (Nascimento et al., 2015). Apresentam sequência de horizontes A-C, são profundos, com predomínio de areia fina, têm reação do solo fortemente ácida na superfície e moderadamente ácida nos horizontes subsuperficiais (Quadro 4).

Naturalmente apresentam baixos teores de fósforo e baixa CTC, levando à alta saturação por Al^{3+} mesmo com baixos teores desse elemento. Destaca-se também os baixos teores de carbono, que decrescem para os horizontes mais profundos. Os teores de carbono e fósforo são muito baixos, reflexo da textura e da baixa adição de matéria orgânica pela vegetação pouco pujante.

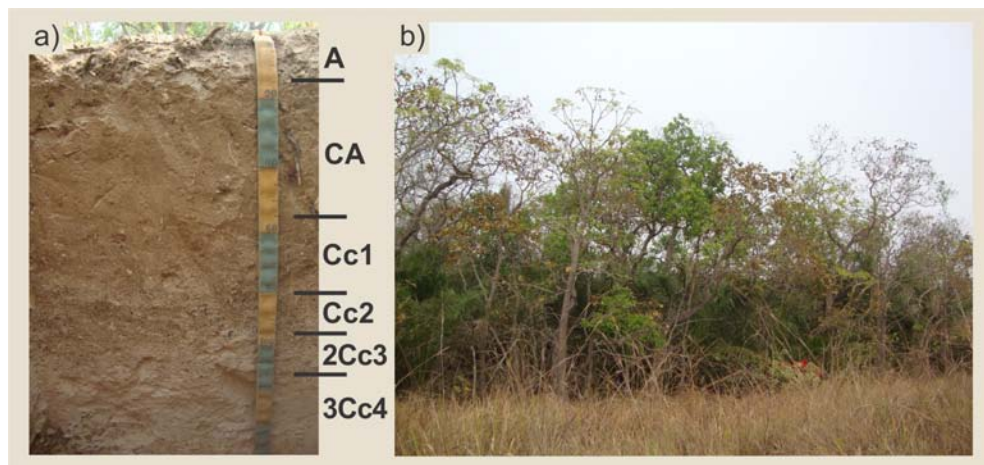


Figura 9. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico plintossólico no Pantanal Norte. Fonte: Nascimento (2012).

Muitos desses Neossolos Quartzarênicos apresentam nódulos e concreções ao longo do perfil de solo, o que lhes confere caráter plíntico, como no caso do perfil aqui mostrado. Além disso, no 4º nível categórico do SiBCS, são frequentemente classificados como neofluvi ssólicos devido ao caráter flúvico presente.

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico plintossólico do Pantanal de Cáceres. Dados extraídos do Banco de Solos, perfil 22 (Emprapa, 2014).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-10	380	520	60	40	1,5
A2	10-28	350	540	70	40	1,75
2Ac	28-52	380	490	80	50	1,6
Cc1	52-86	320	570	70	40	1,75
Cc2	86-136	380	510	90	20	4,5
Cc3	136-160	420	420	120	40	3

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,1	-	-	0,11	0,02	1,5	0,8	1,5
A2	5,2	-	-	0,04	0,02	1,6	1	1,6
2Ac	5,5	-	-	0,03	0,02	1,5	1	1,5
Cc1	5,6	-	-	0,03	0,02	0,8	0,4	0,8
Cc2	5,9	-	-	0,02	0,02	0,5	0,1	0,5
Cc3	5,9	-	-	0,02	0,02	0,6	0	0,6

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	73	20	1	3,5
A2	67	31	0	2,6
2Ac	71	27	0	2,4
Cc1	67	25	0	1,1
Cc2	50	20	0	1
Cc3	0	50	0	0,9

4.5 Luvisolos Háplicos Pálicos típicos

Os Luvisolos ocorrem em locais que não inundam, principalmente nas cordilheiras, paleodiques mais preservados, que sofreram menor erosão ou influência das inundações periódicas (Sousa, 2003; Ferreira Júnior, 2009; Beirigo et al., 2011; Oliveira Junior, 2015) (Figura 10).

Em geral, apresentam sequência de horizontes A-E-Bt, textura média a muito argilosa e são profundos, o que lhes confere caráter pálico no 3º nível categórico do SiBCS (Quadro 5). Além dos Háplicos, no 2º nível são observados também os Crômicos (inclusive o hipocrômico, na antiga classificação). No 4º nível pode ser observado o caráter abrupto. Naturalmente são eutróficos, com baixa saturação por Al^{3+} , possuem argila de atividade alta e altos teores de fósforo e carbono. Ferreira Júnior (2009), estudando solos de cordilheira no Pantanal de Barão de Melgaço, classificou um Luvissoilo no 3º e 4º níveis como Órtico Alumínico Ta.

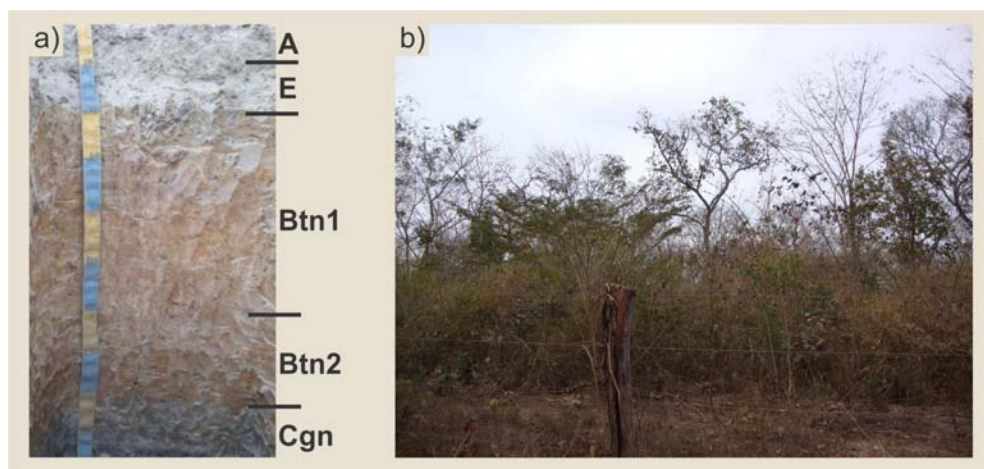


Figura 10. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Luvissoilo Háplico Pálico típico no Pantanal Norte. Fonte: (a) Oliveira Junior (2015) (b) Do autor.

No Pantanal de Barão de Melgaço, Oliveira Junior (2015) descreveu e classificou Luvissois Crômicos e Háplicos, todos pálicos abruptos no 3º e 4º níveis, além de identificar elevada saturação por Na^{+} nos horizontes B e subjacentes. No Pantanal de Poconé, Sousa (2003) classificou um Luvissoilo Hipocrômico Órtico planossólico.

Embora não tenham sido abordados aqui, é importante destacar ainda a ocorrência de Neossolos e Cambissolos Flúvicos associados aos diques atuais dos rios, além dos Argissolos mapeados na Figura 5.

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Luvissole Háplico Pálico típico. Leque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal de Barão de Melgaço. Dados extraídos de Beirigo et al. (2011).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-30	9	23	12	56	0,21
E	30-52	20	34	21	25	0,84
Bt	52-90	19	30	18	33	0,54
2Bt	90-110	3	5	15	77	0,19
3Bt	110-150+	15	25	13	47	0,28

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	4,8	5,9	2,3	0,74	0,07	5,8	0,1	14,9
E	4,9	3,1	2,5	0,57	0,07	4,3	0,2	10,7
Bt	5,4	4,3	4,5	1,58	0,23	2,7	0,1	13,4
2Bt	5,8	4,4	4,8	1,39	0,20	1,5	0,1	12,4
3Bt	6,1	3,2	3,0	1,08	0,11	0,7	0	8,1

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	1	60	42	36,0
E	3	58	35	13,3
Bt	1	79	6	8,1
2Bt	1	87	4	8,1
3Bt	0	91	7	6,4

5 Feições morfológicas típicas

Em geral, os solos apresentam, predominantemente, matizes 10YR, valor acima de 5 e croma abaixo de 3, coloração pálida (Santos et al., 2018). Nos Gleissolos e Plintossolos, as feições redox (mosqueados e variegados) apresentam coloração com matiz mais avermelhada ou, se mantido o mesmo matiz, croma igual ou superior a 7.

Destaca-se que, conforme descrito por Couto et al. (2023), as feições redoximórficas podem aparecer intra-agregados ou entreagregados (Figura 11a e 11b), a depender do tipo de saturação de água, epi e endossaturado, respectivamente.

Os nódulos e concreções de Fe e Mn (Figura 11c e 11d) ocorrem em horizontes subsuperficiais em várias classes de solos e em diferentes compartimentos da paisagem.

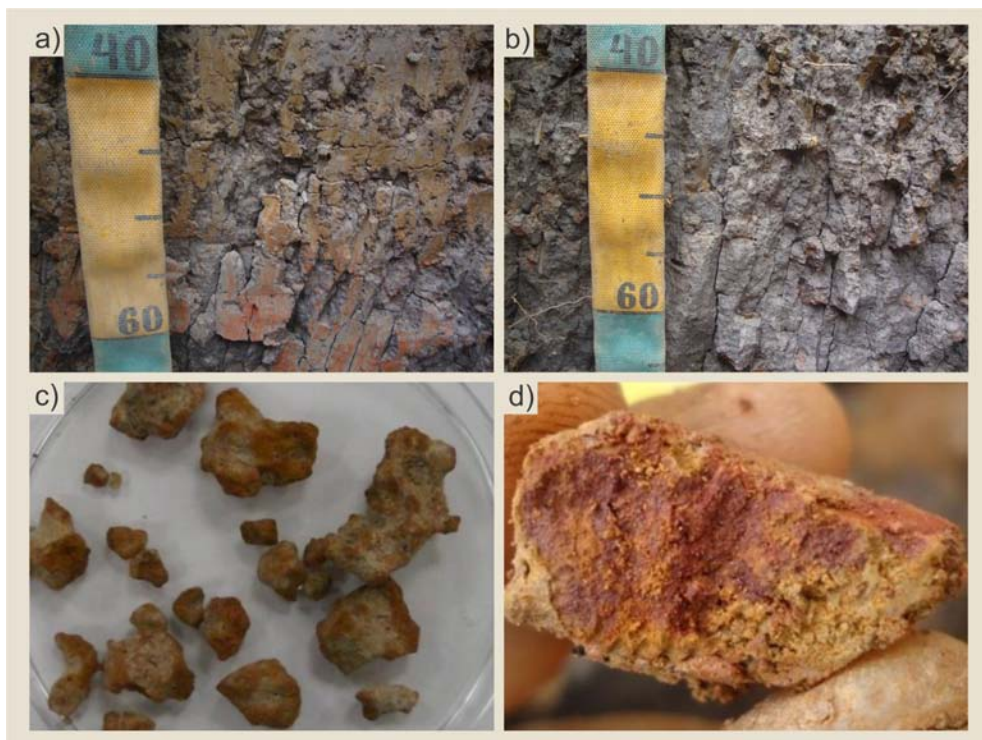


Figura 11. Feições redoximórficas de solos do Pantanal Norte: a) mosqueados intragregados de cor amarela e vermelha em matiz 10YR; b) mesma profundidade da Figura (a) mostrando o espaço entre agregados reduzido; c) concreções de Fe e Mn em visão geral; e d) concreção de Fe em detalhe. Fonte: Nascimento (2012) e Beirigo (2013).

A textura do solo varia de arenosa até muito argilosa, a depender da posição na paisagem, da origem e do período dos pacotes sedimentares, bem como do tempo sob ação do intemperismo. Em geral, solos derivados de canais abandonados apresentam textura arenosa, de diques textura média, e solos de planície textura argilosa ou muito argilosa. Independentemente do compartimento, os últimos estudos têm mostrado que contrastes texturais são comuns e estão associados à dinâmica dos sistemas deposicionais e a processos pedogenéticos de eluviação/iluviação (Nascimento, 2012; Nascimento et al., 2013; Oliveira Junior, 2015).

Os horizontes mais próximos à superfície apresentam estrutura do tipo blocos angulares/subangulares e prismas médios com grau moderado a forte (Figura 11b). Em locais não inundados, em que ocorre saturação elevada por sódio, os prismas variam de médios a muito grandes (Beirigo, 2013; Ferreira Júnior, 2009). Nos horizontes mais profundos, principalmente em locais que inundam, não ocorrem unidades estruturais, sendo, portanto, estrutura maciça, a exemplo dos Gleissolos (Nascimento, 2012).

Em horizontes em que se tem altos teores de argila do tipo 2:1, podem ser encontrados slickensides em horizontes subsuperficiais (Figura 12), como em solos derivados de sedimentos holocênicos descritos por Nascimento (2012). O acúmulo de carbonato de cálcio é outra característica a ser destacada, nos locais não inundáveis na paisagem, principalmente em Luvisolos (Sousa, 2003; Oliveira Junior, 2015), mas que também é encontrada em Planossolos (Beirigo, 2013).

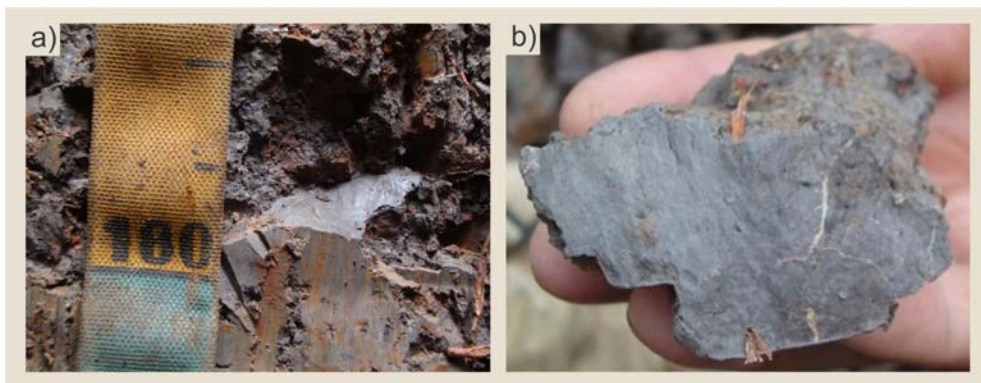


Figura 12. Características vérticas descritas por Nascimento (2012) em um sistema pedológico holocênico no Pantanal de Barão de Melgaço. Superfície de fricção (slickensides) em profundidade (a) e agregado arredado cuneiforme (b). Fonte: Do autor.

6 Limitações de uso agrícola

Para o uso agropecuário, os Plintossolos são os mais utilizados nos períodos de vazantes. Nesses solos, naturalmente ocorrem gramíneas adaptadas e com potencial para a alimentação de animais ruminantes, contudo com baixa taxa de lotação, configurando uma pecuária extensiva (Santos et al., 2011).

A formação de pastagens com plantas adaptadas poderia maximizar a produção pecuária, mas deve ser assistida pelas leis que regem o uso do solo no Pantanal (Santos et al., 2022). Nas feições do relevo não inundáveis ocorrem, majoritariamente, os Planossolos sob vegetação arbórea, os quais, se suprimida a

vegetação natural para a formação de pastagens, têm baixo potencial em razão das limitações físicas do horizonte B plânico, do pH elevado e da alta saturação por Na^+ , limitando gradativamente a produção vegetal. Os Gleissolos, em geral, possuem alta saturação por Al^{3+} , são os primeiros a inundar e os últimos a drenar nas vazantes, o que limita, em muito, o seu uso agropecuário.

Portanto, a inundação periódica, a deficiência de drenagem, a elevada saturação por Na^+ e por Al^{3+} e a presença de nódulos e concreções, por vezes somadas, acabam por restringir o uso com culturas anuais em grandes áreas para fins comerciais. Pequenas culturas, como banana, mandioca, pecuária leiteira e de corte são práticas corriqueiras dos agricultores e ribeirinhos que convivem com esse ambiente. Esses pequenos cultivos se tornam viáveis porque, na escala de pequenas propriedades, é possível identificar pequenas áreas de solos com potencial e viabilizar, com mão de obra braçal, sua implantação, visando o consumo familiar.

7 Potencial de uso das terras

A Planície Pantaneira é uma Área de Uso Restrito (Brasil, 2012a; Brasil, 2012b), na qual as regras são definidas pelos estados da federação onde ocorre o bioma. O estado de Mato Grosso, onde se localiza o Pantanal Norte, estabeleceu as regras de uso em 2008 e as atualizou em 2022 (Mato Grosso, 2022). Nessas normas consta que é proibido as áreas de reserva legal e as áreas de preservação permanente terem supressão da vegetação nativa. Dessa forma, todas as iniciativas de uso da terra devem ser baseadas nessas regras estabelecidas em legislação vigente.

Com base nisso, destaca-se o potencial do Pantanal em fornecer serviços ambientais (Santos et al., 2020) de provisão (principalmente água, alimentos, madeira, fibras e extratos), de regulação (principalmente sequestro de carbono, purificação do ar e equilíbrio no ciclo hidrológico), de suporte (principalmente ciclagem de nutrientes, polinização, dispersão de sementes e manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético) e de cultura (principalmente recreação, turismo, identidade cultural, beleza cênica e desenvolvimento intelectual), importantes para o país (Clarkson et al., 2013; Santos et al., 2020). Iniciativas têm sido realizadas para a valoração e o pagamento por esses serviços, contudo, ainda há muito para avançar de forma a garantir a produção de alimentos para as comunidades e, ao mesmo tempo, preservar esse ambiente singular.

Após os serviços ambientais, o segundo maior potencial de uso das terras no Pantanal refere-se à pecuária, baseada em gramíneas nativas, que formam pastagens com capacidade de suporte variável com muita sazonalidade devido à produtividade e qualidade de forragem (Santos et al., 2011). Nesse sentido, Santos et al. (2022), estabeleceram recomendações técnicas para o planejamento

da introdução de forrageiras exóticas tendo em vista a pressão pelo aumento de produtividade e intensificação da atividade no Pantanal. Os autores deixam evidente que, devido à fragilidade, heterogeneidade e dinâmica do Pantanal, a supressão da vegetação nativa para inserção de pastagens cultivadas é complexa e os resultados incertos. Algumas alternativas, como a introdução ou manutenção de árvores para formação de pastagens em sistemas silvipastoris, bem como a diversificação de espécies de gramíneas, sistemas de produção orgânicos, de baixa emissão e carbono neutro (Almeida e Alves, 2020; Mauro et al., 2022), entre outras, são alternativas viáveis para aumentar a produtividade e a rentabilidade e para agregar valor às atividades e aos produtos oriundos do ambiente pantaneiro (Santos et al., 2022).

Os cultivos em pequenas áreas para produção de alimentos visando ao consumo das famílias e pequenas comunidades passam pela identificação de locais permitidos para esse uso pela legislação e com menores restrições de solos, conforme abordado no item 6. Neste ponto, os Luvisolos se destacam por possuírem alta fertilidade natural, ocorrerem em locais não inundáveis e, por vezes, com alguma restrição física devido a menor porosidade do horizonte Bt. Outro solo que pode se destacar para pequenos cultivos são os Planossolos, que não inundam, porém, possuem mais restrições que os Luvisolos quanto à fertilidade e porosidade dos horizontes subsuperficiais.

8 Considerações finais

A complexa distribuição dos solos no Pantanal Norte, a exemplo de todo esse ambiente, exige uma abordagem que insira outros estudos para se começar a entender o mosaico de solos moldado pela dinâmica e evolução dessa planície fluvial.

De maneira geral, os Planossolos, Luvisolos e Neossolos têm registro de ocorrência nas porções mais elevadas do relevo (cordilheiras), com presença frequente do caráter sódico ou solódico nos Planossolos. Nas porções baixas, baixas, vazantes e corixos, ocorrem os Plintossolos, Gleissolos, Vertissolos e Neossolos. As feições pedológicas mais notáveis desta grande planície incluem mosqueados, gradientes texturais, nódulos de ferro e manganês e acúmulo de sódio.

Muitos avanços foram alcançados, principalmente nas últimas décadas de pesquisas nesta grande área úmida, mas há muito por se fazer para realmente compreender em detalhes a dinâmica dos processos pedogenéticos que moldam a distribuição dos solos. Com tudo isso, torna-se evidente a demanda de levantamentos detalhados para a compreensão mais acurada da distribuição de solos nesta grande planície inundável.

9 Referências

Almeida RG, Alves FV. Diretrizes Técnicas para Produção de Carne com Baixa Emissão de Carbono Certificada em Pastagens Tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC). Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. 36 p. (Documento, 280).

Amaral-Filho ZPD. Solos do Pantanal. Anais do 1º Simpósio recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. Corumbá: Embrapa. Centro de Pesquisas do Pantanal/Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 1986. p. 91–103.

Assine ML, Merino ER, Pupim FN, Macedo HA, Santos MGM. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*. 2015;45:475–489. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150014>

Beirigo RM, Vidal-Torrado P, Stape JL, Couto EG, Andrade GRP. Solos da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal. 1. ed. Rio de Janeiro: SESC, 2011.

Beirigo RM. Formação e degradação de feições redoximórficas em solos do Pantanal – MT [Tese]. Piracicaba: ESALQ-USP; 2013.

Brasil. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ano 149, n. 102, p.1-8, seção 1, 28 maio de 2012a.

Brasil. Lei n.º 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ano 149, n. 202, p.1-3, seção 1, 18 outubro de 2012b.

Clarkson BR, Ausseil AG, Gerbeaux P. Wetland Ecosystem Services. In: Dymond JR, editor. *Ecosystem Services in New Zealand-Conditions and Trends*. Lincoln: Manaaki Whenua Press; 2013. p.192-202.

Couto EG, Oliveira VA, Beirigo, RM, Oliveira Junior JC, Nascimento AF, Vidal-Torrado P. Solos do Pantanal Matogrossense. In: Curi N, Ker JC, Novais RF, Vidal-Torrado P, Schaefer CEGR, editores. *Pedologia: solos dos biomas brasileiros*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 303-352.

Couto EG, Correa GR, Oliveira VA, Nascimento AF, Vidal-Torrado P, Beirigo, RM, Schaefer CEGR. Soils of Pantanal: The Largest Continental Wetland. In: Schaefer

CEGR, editor. The Soils of Brazil. 1ed. Berlin: Springer International Publishing, 2023. p. 239-267.

Embrapa. Sistemas de informação de solos brasileiros. In: Banco de dados de Solos. Rio de Janeiro (RJ); 2014. Disponível em: https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html. 2014.

Ferreira Júnior WG. Análise de gradientes vegetacionais e pedogeomorfológicos em Floresta, Cerrado e Campo no Pantanal Matogrossense, Barão de Melgaço, Mato Grosso [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

Mato Grosso (Estado). Lei n.º 11.861, de 3 de agosto de 2022. Dispõe sobre a Política Estadual de Gestão e Proteção à Bacia do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 4 de agosto de 2022, ano 132, n.º 28.301, p. 1-2, 2022.

Mauro RA, Silva MP, Alves FV, Almeida RG, Laura VA, Porfirio-da-Silva V. Diretrizes técnicas para produção pecuária sustentável com árvores nativas: Carbono Nativo (CN). Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2022. 32 p. (Documentos, 303).

Nascimento AF. Relações pedologia-geomorfologia-sedimentologia no Pantanal Norte [Tese]. Piracicaba: ESALQ-USP; 2012.

Nascimento AF, Furquim SAC, Couto EG, Beirigo RM, Oliveira Junior JC, Camargo PB, Vidal-Torrado P. Genesis of textural contrasts in subsurface soil horizons in the Northern Pantanal-Brazil. Rev. Bras. Cienc Solo. 2013;37: 1113-1127. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500001>

Nascimento AF, Furquim SAC, Graham RC, Beirigo RM, Oliveira Junior JC, Couto EG, Vidal-Torrado P. Pedogenesis in a Pleistocene fluvial system of the Northern Pantanal - Brazil. Geoderma. 2015;255-256:58-72. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.025>

Oliveira Junior JC, Chiapini M, Nascimento AF, Couto EG, Beirigo RM, Vidal-Torrado P. Genesis and Classification of Sodic Soils in the Northern Pantanal. Rev. Bras. Cienc Solo. 2017;41:e0170015. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170015>

Oliveira Junior JC, Furquim SAC, Nascimento AF, Beirigo RM, Barbiero L, Valles V, Couto EG, Vidal-Torrado P. Salt-affected soils on elevated landforms of an alluvial megafan, northern Pantanal, Brazil. Catena. 2019;172:819-830. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104500>

g/10.1016/j.catena.2018.09.041.

Oliveira Junior JC. Processos pedogenéticos atuais e pretéritos em solos alcalino-sódicos do Pantanal Norte [Tese]. Piracicaba: ESALQ-USP; 2015.

Orioli AL, Amaral Filho ZP, Oliveira AB. Pedologia: levantamento exploratório de solos da Folha SE.21 (Corumbá) e Parte da Folha SE.20. In: BRASIL. Projeto RADAM-BRASIL. Rio de Janeiro: MAPA, 1982. p. 25-328.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Santos SA, Abreu UGP, Tomich TR, Comastri Filho JA. Traditional beef cattle ranching and sustainable production in the Pantanal. In: Junk WJ, Silva CJ, Nunes da Cunha C, Wantzen KM, editores. The Pantanal: ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. Sofia: Pensoft Publishers, 2011. p. 755-774

Santos SA, Takahashi F, Cardoso E, Flores C, Oliveira L, Souza G, Gomes E, Ortega E. An Emergy-Based Approach to Assess and Value Ecosystem Services of Tropical Wetland Pastures in Brazil. *Open Journal of Ecology*. 2020;10:303-319. doi: 10.4236/oje.2020.105019.

Santos SA, Salis SM, Urbanetz C, Delbem A, Franco JL, Comastri filho JA, Santos PM. Recomendações técnicas para o planejamento da introdução de forrageiras exóticas de forma sustentável no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2022. 26 p. (Documentos, 176).

Silva JSV, Abdon MM, Boock A, Silva MP. Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, sul do Pantanal. *Pesq. Agropec. Bras.* 1998;33:1713–1719.

Sousa JB. Caracterização e gênese de solos de cordilheiras em campo de inundação periódica da sub-região do Pantanal de Poconé, Mato Grosso [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.



Fonte: João Henrique Quoos

Solos da Planície Costeira Setentrional de Santa Catarina

Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem¹; Daniel Alexandre Heberle²; Arcângelo Loss¹.

¹Universidade Federal de Santa Catarina

²Universidade do Estado de Santa Catarina

1 Introdução

As Planícies Costeiras do sul do Brasil podem ser divididas em dois grandes compartimentos geomorfológicos, com características distintas que influenciam diretamente a formação e distribuição dos solos. Este capítulo aborda os solos da Planície Costeira Setentrional, localizada entre o Farol de Santa Marta e Itapoá, em Santa Catarina (SC). Essa região é marcada por feições associadas à costa cristalina e pela proximidade de estruturas montanhosas, diferenciando-se da Planície Costeira Austral, que se estende do Chuí, no Rio Grande do Sul, até o Farol de Santa Marta, SC. Muehe (1998) propôs essa divisão com base em diferenças na evolução sedimentar e nos sistemas laguna-barreira. A Planície Costeira Austral apresenta depósitos relacionados a múltiplos eventos de transgressão e regressão marinha, ao passo que a Planície Costeira Setentrional é caracterizada por sistemas deposicionais mais recentes e menos complexos, resultantes de condições sedimentares específicas da porção norte.

Este capítulo, portanto, foca nos solos da Planície Costeira Setentrional (Figura 1), cuja geomorfologia e história deposicional justificam sua análise particular. A Planície Costeira de Santa Catarina é uma delimitação físico-geográfica que se estende ao longo do litoral catarinense, sendo caracterizada por terrenos de baixa altitude e relevo predominantemente plano, que fazem a transição entre o oceano Atlântico e as áreas mais elevadas do interior do estado. É formada por sedimentos de textura arenosa a argilosa, depositados direta ou indiretamente por processos/agentes marinhos e costeiros ao longo do último período geológico (Período Quaternário). Além disso, é composta por um conjunto de ecossistemas pertencentes ao bioma Mata Atlântica associados às condições especiais destes solos, desempenhando um papel crucial na biodiversidade local e na manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Além de sua importância ambiental, a Planície Costeira também tem grande relevância econômica e social ao abrigar a maior parte da população do estado. Os municípios da zona costeira de SC desempenham um papel estratégico para indústria e comércio exterior, contando com polos industriais, como Joinville, e portos de grande relevância nacional, como o complexo portuário de Itajaí, Navegantes e o porto de São Francisco do Sul. Também, contam com grandes polos turísticos que atraem milhões de turistas todos os anos, como Balneário Camboriú e Florianópolis.

Embora os solos desempenhem serviços ecossistêmicos fundamentais, há uma escassez de suas informações, tanto do ponto de vista da distribuição es-

pacial quanto do de seus processos de formação. Os trabalhos que abrangem totalmente este ambiente são mapas pedológicos de pequenas escalas (Potter et al., 2004; IBGE, 2024b), com trabalhos mais detalhados recobrendo parcialmente pequena proporção do Litoral (IBGE; IPUF, 1994; Uberti; Sartor, 2012) e pouquíssimos relacionados à gênese dos solos nos depósitos sedimentares (Paisani, 2004; Heberle, 2012; 2017; Rosolem, 2024; Rosolem et al., 2025).



Figura 1. Municípios que compõem a zona costeira em Santa Catarina e a sua porção setentrional. Fonte: Compilação dos autores com dados do IBGE (2024a,b).

Assim, o objetivo deste capítulo é realizar uma abordagem detalhada dos solos e das paisagens que ocorrem na Planície Costeira Setentrional de SC, apresentando as principais classes de solos e suas características morfológicas, químicas e físicas, as relações entre os fatores de formação, bem como as suas limitações ao uso agrícola e o seu potencial de uso das terras.

2 Caracterização ambiental

A Planície Costeira Setentrional catarinense possui uma área de aproximadamente 2.450 km², inserida praticamente em sua totalidade dentro de 32 dos 41 municípios que compõem a zona costeira do estado (Figura 2). Em razão de ser uma delimitação com base em elementos fisiográficos, os limites variam em função

da fonte e escala dos dados fisiográficos utilizados. Neste trabalho, o limite da Planície Costeira compreende a unidade geomorfológica Planície Litorânea do mapeamento realizado pelo IBGE (2024a), em escala 1:250.000, dentro do limite político-administrativo do estado de Santa Catarina.

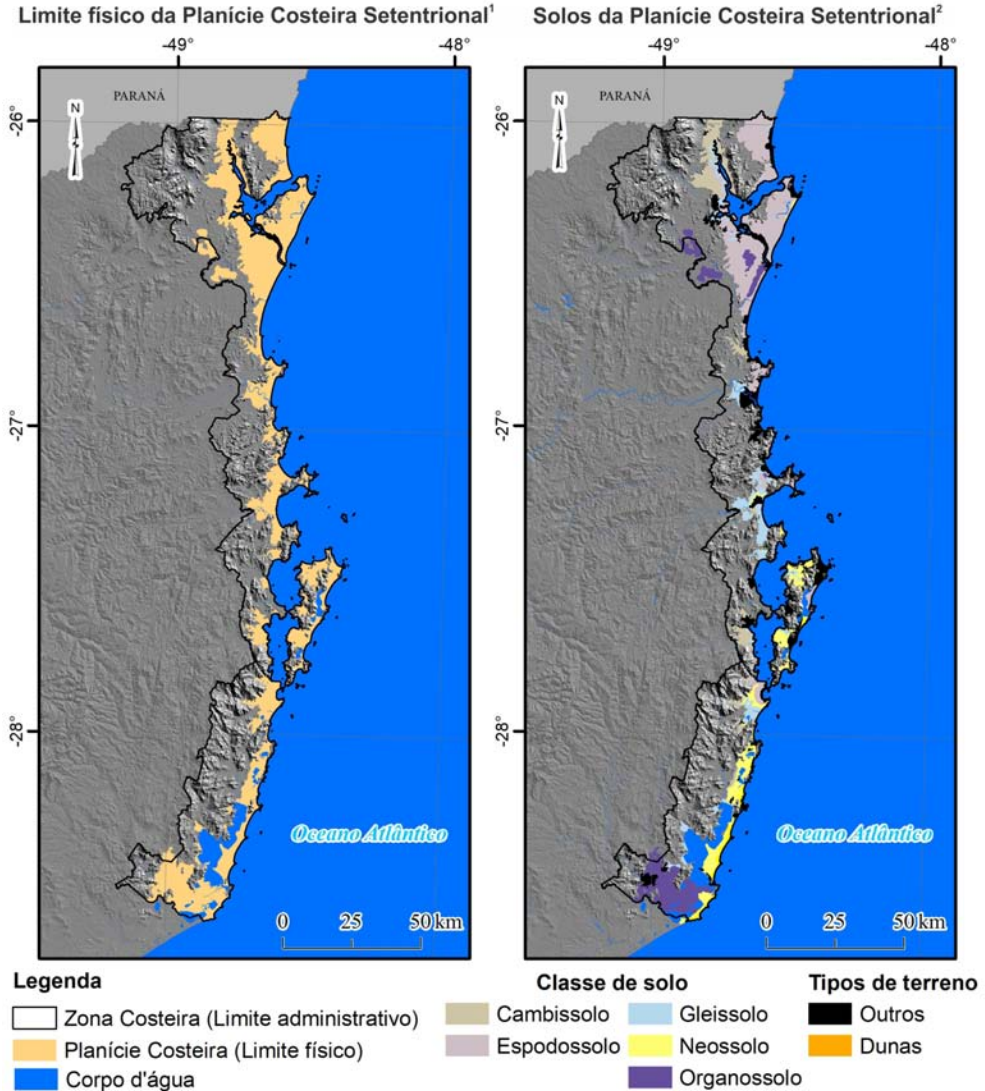


Figura 2. Limite físico-geográfico e principais ordens de solos da Planície Costeira de Santa Catarina. Fonte: Compilação dos autores com dados do IBGE (2024a,b).

Do ponto de vista geológico, a Planície Costeira Setentrional é constituída por três sistemas deposicionais quaternários: sistema deposicional continental, sistema deposicional costeiro e sistema deposicional antropogênico. O sistema deposicional continental, associado às encostas das terras altas, apresenta depósitos coluviais, de leque aluvial e aluvial do Quaternário, localizados no sopé das elevações e ao redor da rede hidrográfica nas terras baixas. Já o sistema deposicional costeiro é constituído, em sua maioria, pelo sistema laguna-barreira e está relacionado às variações do nível do mar ao longo do Quaternário, incluindo depósitos marinhos, eólicos, lagunares, paludiais, estuarinos, de baía e outros associados a esses ambientes e de idade pleistocênica e holocênica. Por fim, o sistema deposicional antropogênico compreende depósitos de origens natural e humana, incluindo sambaquis holocênicos, formados por misturas sedimentares e restos orgânicos, e depósitos tecnogênicos artificiais, como aterros e rejeitos minerais (Horn Filho; Felix; Camargo, 2020).

Já em relação à geomorfologia, caracteriza-se por relevo predominantemente plano com suaves declives em direção ao mar, altitudes médias de 10 m e, pontualmente, alcançando mais de 30 m, sendo composto por modelados e formas de relevos formados a partir das flutuações do nível do mar no período Quaternário (IBGE, 2024a). A maior parte destas feições foram modeladas na última transgressão do mar no Holoceno, de forma que tal dinâmica colaborou para diferentes ambientes no interior da planície (Figura 3), como campos de dunas e lençóis de areias, planícies lagunares e/ou lacustres, terraços marinhos e lagunares, planícies marinhas, fluviomarinhas e fluviolagunares, deltas intralagunares, lagoas e lagoas costeiras, praias, estuários e planícies de maré (Luiz, 2016). O contato dos modelados pode ser abrupto, como no caso das planícies marinhas espremidas entre o oceano Atlântico e a serra do Leste Catarinense, mas, entre planícies e terraços, costuma ser gradual, quase imperceptível em campo.

Sobre essa dinâmica geológica-geomorfológica, as planícies costeiras são ocupadas por comunidades vegetais diversas e especializadas (Figura 4), notadamente pela vegetação de restinga e mangue. As restingas são encontradas em diferentes formações, variando desde herbácea e/ou subarbustiva e arbustivos, nas áreas de maior exposição a ventos e salinidade, até formações arbóreas mais densas em áreas protegidas no interior da planície. Ao mesmo tempo, os diferentes estágios da fitofisionomia de restinga também podem variar de acordo com as condições de saturação hídrica e salinidade dos solos. Já a vegetação de mangue está situada em áreas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos de águas calmas, localizadas na foz de rios com influência das marés, e é composta principalmente por espécies arbóreas adaptadas a solos alagados e salinos. Cabe destacar que, nas porções mais internas da planície, mais próximo às encostas, ocorre uma área de tensão ecológica com a transição gradual da restinga para

Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

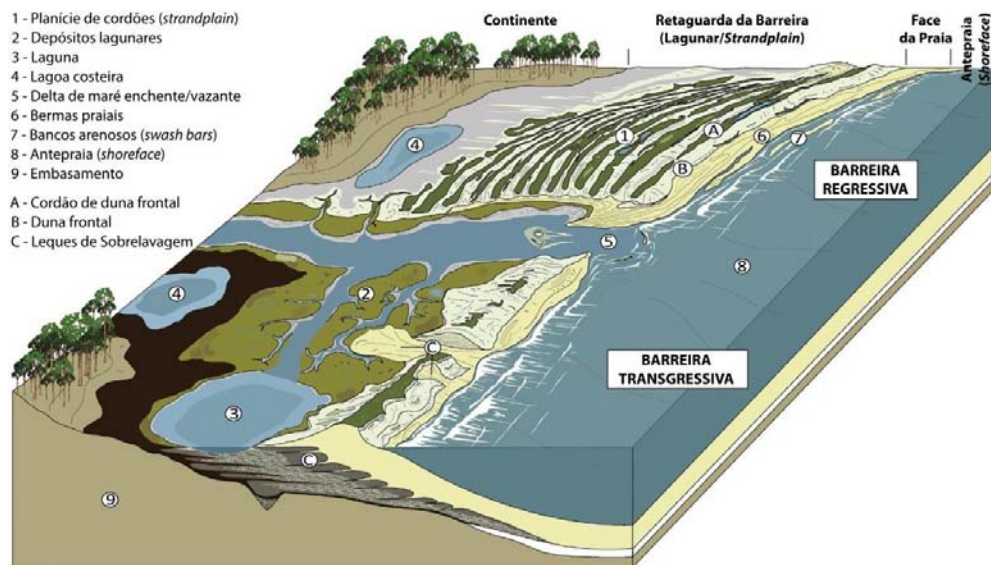


Figura 3. Diferentes ambientes de acumulação formados na Planície Costeira Setentrional de SC. Fonte: Modificado de Goslin e Clemmensen (2017) por Bittencourt (2019).

O clima é do subtipo climático Cfa (Subtropical), segundo a classificação de Köppen, que se caracteriza por não ter uma estação seca definida e apresentar temperatura média dos meses mais frios inferior a 18 °C e dos meses mais quentes acima de 22 °C, com verões quentes e tendência de concentração de chuvas. A precipitação média anual varia entre 1.100 e 2.100 mm, sendo menor no Litoral Sul e aumentando em direção ao Litoral Norte (Pandolfo et al., 2002).

De forma geral, predominam cinco classes de solos (IBGE, 2024b) (Figura 2): Cambissolos (11,2%), Espodossolos (31,2%), Gleissolos (12,5%), Neossolos (10,8%) e Organossolos (15,3%). Desses cinco, verifica-se que os Cambissolos apresentam maior expressão na região interna da planície, nas transições da Planície Costeira com a serra do Leste Catarinense, sugerindo que essa maior expressão possa se dar em virtude da possível divergência na delimitação das feições entre o tema pedologia e geomorfologia (IBGE, 2024a,b).

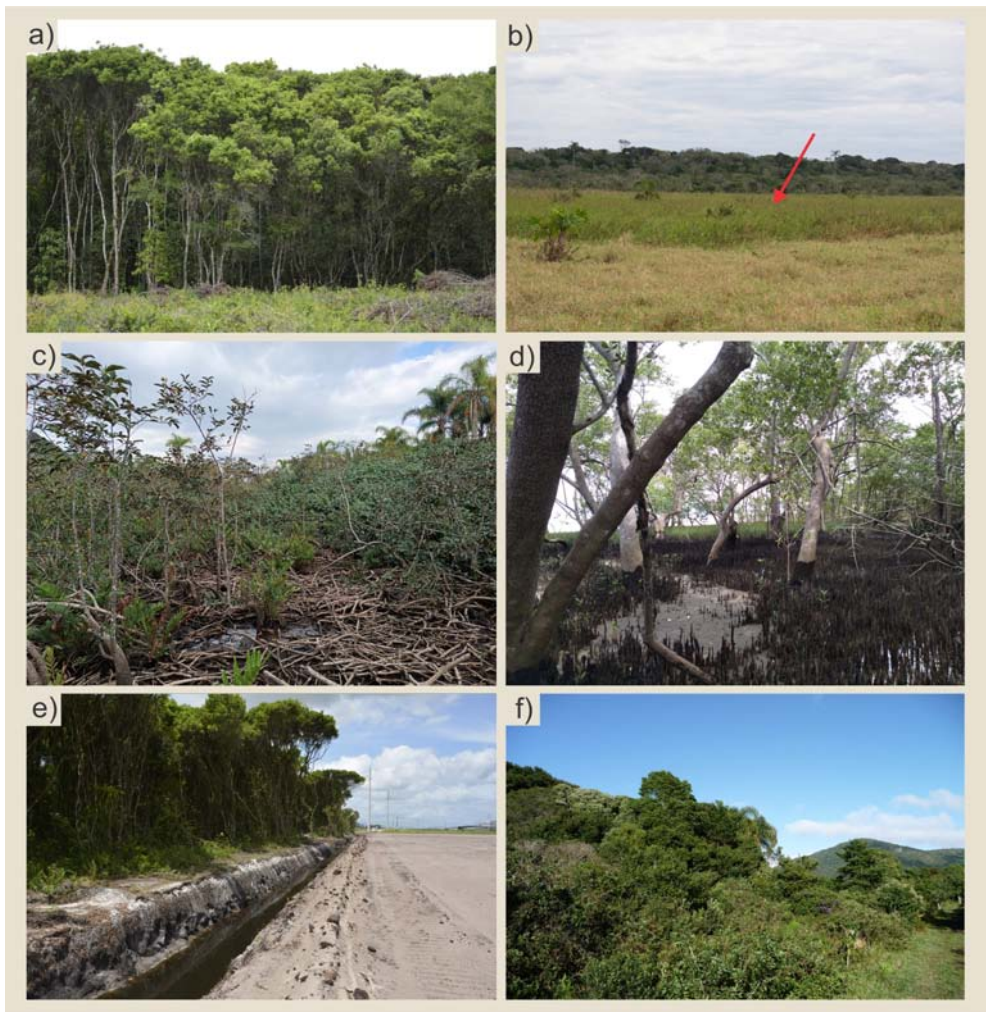


Figura 4. Tipos de vegetação: a) vegetação de restinga arbórea sobre Gleissolos-Organossolos; b) vegetação de restinga sobre Organossolos (indicado pela seta); c) vegetação de transição restinga-mangue; d) vegetação de mangue (subosque); e) vegetação de restinga arbórea sobre Espodossolo mal drenado; f) vegetação de restinga arbórea sobre Espodossolo bem drenado. Fonte: Dos autores.

3 Relação solo-paisagem

Os solos da Planície Costeira Setentrional catarinense apresentam variações que refletem o controle dos fatores de formação, como o material de origem, o relevo, a vegetação e o tempo, na atuação dos processos pedogenéticos (Rosolem, 2024). O controle do clima na diferenciação das classes de solos ocorre de forma

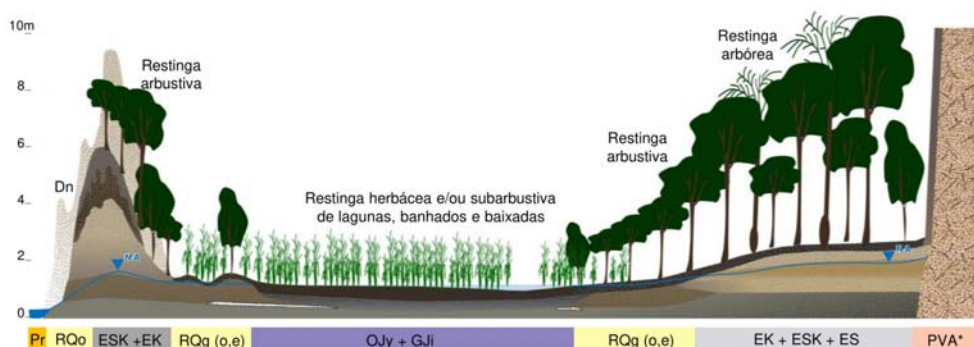
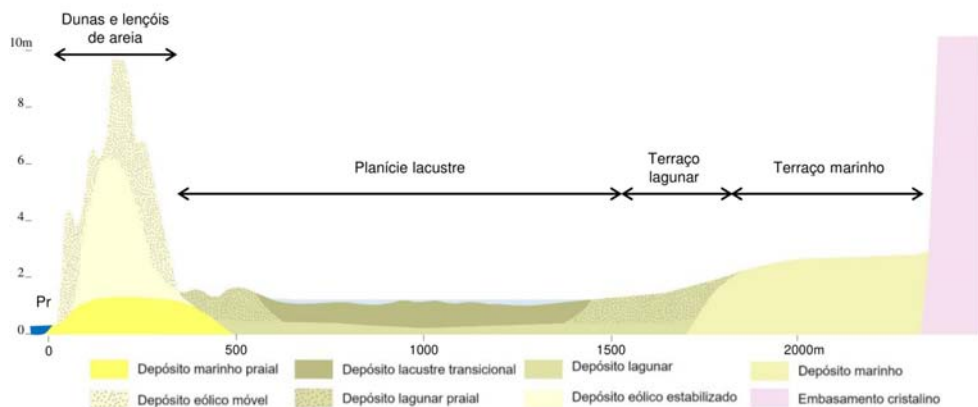
mais indireta e em um contexto mais global, relacionado aos ciclos de glaciação e interglaciação e seus respectivos reflexos nas variações relativas do nível do mar.

Há cerca de 123.000 anos AP, na época do Pleistoceno, o nível do mar esteve a 8 ± 2 metros acima do atual em um evento transgressivo denominado transgressão Cananeia (Suguio, 2010) ou sistema Laguna-Barreira III (Vilwock e Tomazelli, 1985). Os registros contemporâneos desse evento são indicados pelos terraços arenosos mais internos da Planície Costeira, com topos variando de 6 a 12 m de altitude. Nestes depósitos mais antigos são observados os Neossolos Quartzarênicos Órticostípicos, bem como Espodossolos Humilúvicos Órticostípicos, Espodossolos Humilúvicos Órticos dúricos, Espodossolos Humilúvicos Órticos fragipânicos, Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos organossólicos e Espodossolos Ferri-humilúvicos Hidromórficos típicos, todos predominantemente sob vegetação de restinga arbórea.

Ainda durante o Pleistoceno e subsequente ao evento transgressivo, ocorreu um evento regressivo do mar, em que o nível relativo baixou e atingiu -130 m em relação ao nível atual, há aproximadamente 17.500 anos AP (Corrêa, 1996). Já no Holoceno, um novo evento transgressivo ocorreu no entorno de 5.800 anos AP, com o nível do mar atingindo de 2 a 4 m acima do atual (Angulo et al., 2006), evento denominado transgressão Santos (Suguio, 2010) ou Laguna-Barreira IV (Vilwock e Tomazelli, 1985). Este nível se sustentou por alguns séculos e teria recuado progressivamente até o nível atual (Angulo et al., 2006).

Esse avanço da água salgada e salobra sobre o continente e posterior recuo, resultou na formação de novos ambientes de sedimentação e ecossistemas; logo, uma maior diversidade de solos. Nesse contexto, os Espodossolos predominam em sedimentos arenosos como dunas e lençóis estabilizados, bem como terraços lagunares e marinhos, sendo comuns em relevos relativamente mais altos, depósitos holocênicos mais antigos, sob todos os tipos de fitofisionomia de restinga.

Já os Organossolos associam-se principalmente a antigos corpos lagunares-lacustres e meandros abandonados de cursos d'água, em especial sob vegetação de mangue e restinga herbácea e subarbustiva de lagunas, banhados e baixadas (Figura 5). Por outro lado, os Gleissolos encontram-se em formas de relevo que favorecem a sedimentação de silte e argila, como estuários, planícies de inundação e desembocadura de drenagens de encosta. Se próximos à linha de costa, os Gleissolos encontram-se sob vegetação de mangue e restinga herbácea e/ou subarbustiva hidrofílica e, se mais distantes, sob restinga arbustiva e arbórea higrófila. Por fim, os Neossolos Quartzarênicos são solos formados em sedimentos arenosos, podendo, assim, estar presentes em todas as formas de relevo, condições de drenagem e vegetação, mas sendo predominantes nas áreas mais elevadas da Planície Costeira Setentrional.



Síglas: Pr - Praia; Dn - Duna; RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico; ESK - Espodossolo Ferri-humilúvico; EK - Espodossolo Humilúvico; RQg - Neossolo Quartzarênico Hidromórfico; o - organossólico; e - espodossólico; OJy - Organossolo Tiomórfico Hêmico; GJl - Gleissolo Tiomórfico Hístico; ES - Espodossolo Ferrilúvico; PVA* - Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico

Figura 5. Perfis topográficos: tipos de depósitos de sedimentos (imagem superior); solos associados aos ambientes de formação (imagem inferior). Fonte: Dos autores.

4 Dados pedológicos

As ordens de solos mais expressivas encontradas na Planície Costeira Setentrional são os Espodossolos, Neossolos, Gleissolos e Organossolos.

4.1 Espodossolos

Embora os levantamentos de baixa e média intensidades que recobrem o litoral de Santa Catarina apontem pouca ocorrência de Espodossolos, levantamentos mais detalhados (Heberle, 2012, 2017; Rosolem, 2024) e a experiência dos auto-

res, com base em suas pesquisas, sugerem uma maior ocorrência desses solos.

Os Espodossolos observados apresentam tanto horizontes B espódicos, caracterizados pela iluviação de complexos de matéria orgânica humificada com alumínio, de coloração escura com baixo valor e croma (Bh - humilúvico), quanto horizontes constituídos por material amorfo de ferro e alumínio, com baixo conteúdo de matéria orgânica iluvial, ou de coloração com croma elevado (Bs – ferri-lúvico), quanto a combinação de ambos os casos (Bhs – ferri-humilúvicos). Ainda, observam-se casos de horizontes B espódicos fortemente cimentados (Figura 6) de forma contínua e descontínua, chamados de ortsteins (Bhm, Bsm e/ou Bhsm), bem como com fraca cimentação, chamados de fragipã.

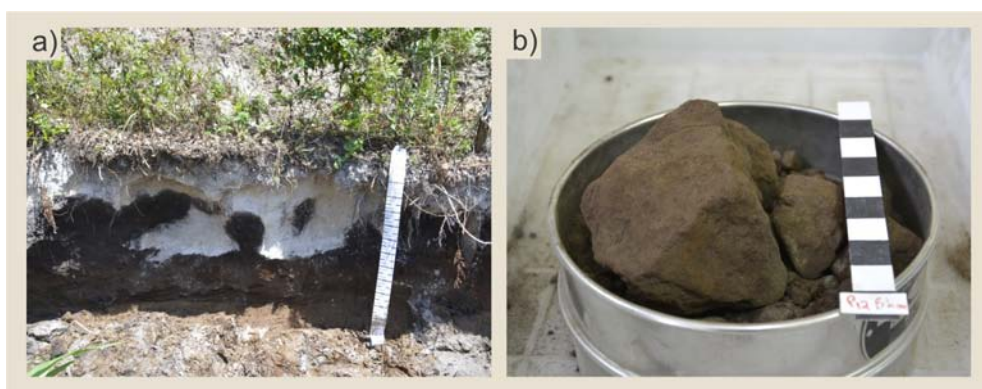


Figura 6. Perfil de Espodossolo com horizonte cimentado (Bhsm): a) perfil de um Espodossolo Ferri-humilúvico Órtico dúbico; b) amostra de horizonte cimentado ortstein. Fonte: Dos autores.

4.1.1 Espodossolos Humilúvicos Órticos típicos

Apresentam horizonte Bh ou Bhm subjacente ao horizonte H, A ou E, podendo estar sobrepostos a outros horizontes espódicos ou não. Nas condições bem a excessivamente drenadas, apresentam sequência de horizontes tipicamente A-E-Bh e/ou Bhm (Figura 7). O horizonte superficial é A fraco ou moderado, pouco espesso, cinzento-escuro, com transição plana e clara, seguido de horizonte E mais claro (cinzento-claro), espessura variável e transição irregular e abrupta. Já os horizontes Bh e Bhm observados apresentam cor predominante preta a bruno muito escuro (valor <4, croma <3), normalmente nos matizes 10YR e 7,5YR, com transições irregulares e claras.

Já nas condições imperfeitamente a mal drenadas, observa-se a sequência

típica de horizontes acima sem um horizonte E isolado, comumente substituído por horizontes transicionais AE, EA e/ou EB com transição plana/ondulada e abrupta/clara. Além disso, outra variação observada nessas condições também são horizontes Bh com cores amarelas (cromas >3) com transições planas/onduladas. Essas cores de Bh e Bhm não atenderiam ao critério do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), porém as cores esbranquiçadas após a calcinação demonstram não haver complexação de matéria orgânica iluvial com ferro (Heberle, 2017; Rosolem, 2024). Já nas posições de relevo convexas, como as cavas dos cordões litorâneos e demais áreas abaciadas nas planícies, onde podem ocorrer o acúmulo de material orgânico devido à drenagem deficiente, desenvolvem-se Espodossolos Humilúvicos com horizontes superficiais hísticos (H) sobrepostos ou não a um horizonte E.

Independentemente das condições de drenagem, estes solos apresentam uma estrutura fraca a moderadamente desenvolvida ou ausente (sem agregação), normalmente granular, no horizonte superficial, e grãos simples nos demais horizontes, à exceção dos horizontes Bhm, que apresentam estrutura maciça por conta da cimentação. A consistência tanto seca quanto úmida é solta, ao passo que a molhada torna-se não plástica e não pegajosa. São solos com baixíssima soma de bases ($<1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), distróficos, elevada saturação por alumínio, pH ácido a neutro, com incremento relativo de carbono, alumínio e acidez potencial em profundidade (Quadro 1).

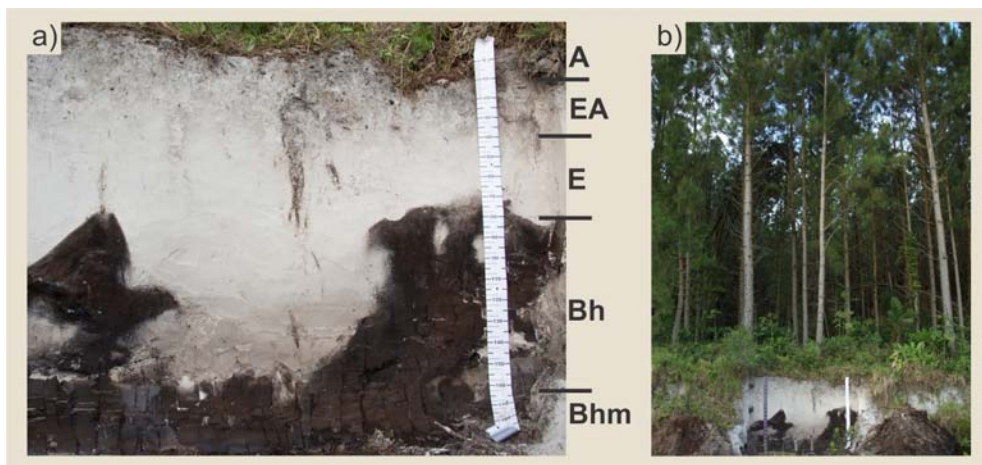


Figura 7. Perfil de Espodossolo Humilúvico Órtico típico (a) e sua paisagem de ocorrência (b) em terraço marinho Pleistocênico (Araquari-SC). Fonte: Dos autores.

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Espodossolo Humilúvico Órtico típico. Dados extraídos de Heberle (2017).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-10	965	21	14	1,50	0,39
AE	10-40	980	12	8	1,50	1,12
E	40-70	988	9	3	3,00	0,50
Bh	70-170	869	82	49	1,67	0,50
Bhm	170-200	944	11	45	0,24	0,47

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	6,3	0,30	0,10	0,10	0,00	0,1	1,4	1,9
AE	7	0,10	0,10	0,00	0,00	0,1	0,8	1,0
E	7,2	0,10	0,00	0,10	0,10	0,0	0,1	0,4
Bh	5,8	0,50	0,10	0,10	0,00	0,9	4,9	5,6
Bhm	5,3	0,50	0,10	0,10	0,10	1,4	14,5	15,3

Horizontes	Al	V	Fed	C orgânico
	%		g kg ⁻¹	
A	26,3	16,7	0,24	7,1
AE	20,0	33,3	0,03	8,1
E	75,0	0,0	-	6,2
Bh	12,5	56,3	0,06	2,9
Bhm	5,2	63,6	0,07	1,9

Fed: ferro extraído com ditionito, citrato e bicarbonato de sódio.

4.1.2 Espodossolos Ferrilúvicos Hidromórficos típicos

As características do Espodossolo Ferrilúvico são idênticas às dos Espodossolos Humilúvicos, com exceção de que o horizonte Bs ou Bsm apresenta cores vivas ($4 \leq \text{valor} \leq 6$ e $\text{croma} \geq 4$) advindas de acumulação de material amorfo composto principalmente de alumínio e ferro combinados com baixo teor de matéria orgânica iluvial. Para ser diagnosticado Espodossolo Ferrilúvico, o horizonte Bs ou Bsm deve estar imediatamente abaixo do horizonte A, E ou H.

São solos ainda com poucas observações no litoral catarinense, de modo que,

até o momento, foi observado somente um Espodossolo Ferrilúvico Hidromórfico típico na Ilha de SC. É um solo com sequência de horizonte A-E-Bs-Cgj, sendo o horizonte superficial A húmico, o horizonte E com feições redoximórficas, os horizontes Bs amarelo-brunados e os horizontes C glei com material sulfídrico (Figura 8). A textura varia de areia franca, no horizonte superficial, a areia nos horizontes subsequentes. Já a estrutura é granular, com tamanho grande a muito pequeno e grau de desenvolvimento moderado a forte, nos horizontes A, e grão simples nos demais horizontes. As transições dos horizontes são irregulares e abruptas, exceto nos horizontes A e Cgj, em que são planas. São solos fortemente ácidos, distróficos, com baixíssima soma de bases e elevada saturação por alumínio (Quadro 2). Ainda, por conta da presença de materiais sulfídricos, podem se tornar extremamente ácidos se drenados.

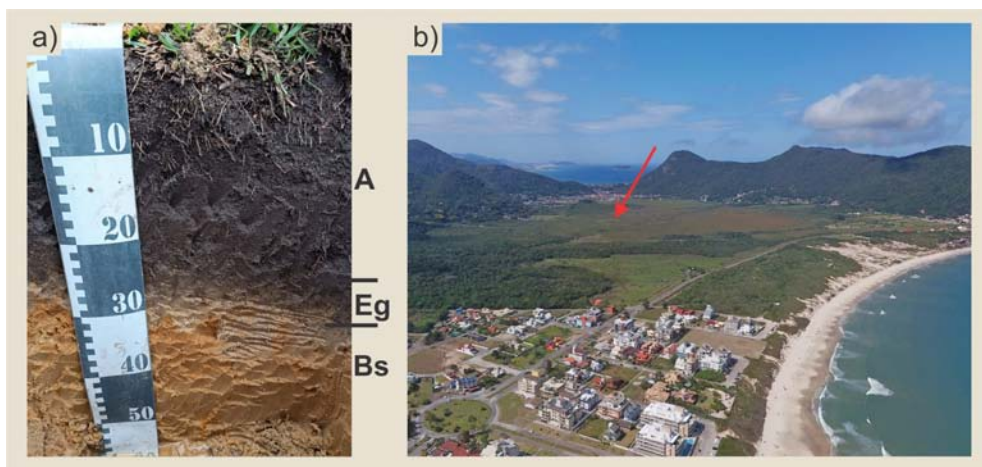


Figura 8. Porção acima do nível freático de um perfil de Espodossolo Ferrilúvico Hidromórfico típico (a), localizado em terraço marinho de idade holocênica (b), em Florianópolis-SC. Fonte: Dos autores (a) e João Henrique Quoos (b).

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Espodossolo Ferrilúvico Hidromórfico típico. Dados extraídos de Rosolem (2024).

Horizon-tes	Profundida-de (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila	
A1	0-10	869	59	71	0,83
A2	10-20	874	55	71	0,77
A3	20-26	916	33	51	0,65
Eg	26-31	977	10	13	0,77
Bs1	31-37	978	10	11	0,91
Bs2	37-60	981	10	9	1,11
Cgj1	60-110	986	7	7	1,00
Cgj2	110-150	985	5	10	0,50

Hori-zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A1	3,7	0,25	0,31	0,14	0,17	1,5	-	-
A2	4,1	0,04	0,16	0,12	0,17	1,1	-	-
A3	3,8	0,05	0,10	0,05	0,12	0,5	-	-
Eg	4,3	0,04	0,03	0,02	0,02	0,0	2,5	2,6
Bs1	5,5	0,01	0,05	0,01	0,02	0,2	2,6	2,7
Bs2	5,2	0,01	0,04	0,01	0,01	0,1	1,5	1,5
Cgj1	5,3	0,02	0,02	0,01	0,00	0,2	0,9	0,9
Cgj2	5,0	0,00	0,03	0,01	0,00	1,1	2,5	2,5

Horizontes	Al	V	pHox 1:1	pHinc ≤1:1	C orgânico
	%				g kg ⁻¹
A1	63,7	-	2,48	3,38	36,0
A2	69,1	-	2,89	3,21	26,5
A3	61,8	-	3,16	4,03	15,0
Eg	26,7	4,2	4,05	3,09	4,0
Bs1	67,9	3,3	3,82	3,84	3,2
Bs2	61,1	4,5	4,76	3,91	0,9
Cgj1	83,0	4,2	4,86	2,74	0,5
Cgj2	96,5	1,6	2,08	2,65	3,2

pHox: pH em peróxido de hidrogênio 30% a pH 5,25; pHinc: pH após período de incubação de 9 e/ou 19 semanas.

4.1.3 Espodossolos Ferri-humilúvicos Órticos típicos

Esses solos são classificados quando o conjunto dos atributos diagnósticos não atende às demais subordens, ou seja, quando o horizonte Bhs ou Bhsm está presente imediatamente subjacente ao horizonte A, E ou H, de modo isolado ou não (Figura 9). O horizonte Bhs apresenta como característica o acúmulo iluvial de complexos organometálicos formados por matéria orgânica combinada com alumínio e ferro, sendo identificado pela cor com matizes variando de 2,5YR a 10YR com valor/croma de 3/4, 3/6, 4/3 ou 4/4, uma vez que os limites de ferro e alumínio extraídos por oxalato ainda não foram estabelecidos.

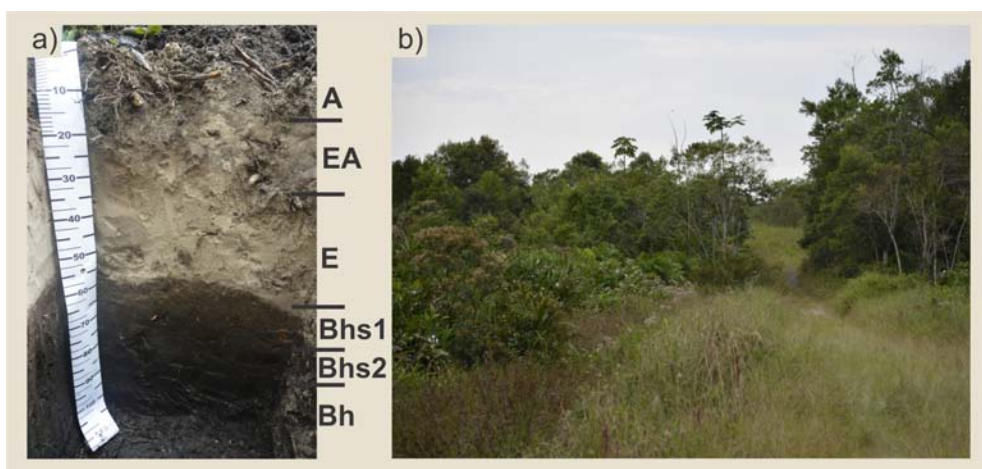


Figura 9. Espodossolo Ferri-humilúvico Órtico típico (a), moderadamente drenado, localizado em contato de terraço marinho pleistocênico com terraço lagunar (b) em Balneário Barra do Sul-SC. Fonte: Heberle (2017).

Alternativamente às extrações, Heberle et al. (2020) propõem a utilização da cor dos horizontes espódicos após a calcinação (queima da matéria orgânica em mufla) como forma de avaliar a presença ou não de ferro nos complexos organometálicos. Os horizontes com presença de ferro apresentam cores amareladas a avermelhadas após calcinação, ao passo que os com ausência apresentam, cores esbranquiçadas.

Apresentam sequência de horizontes A-E-Bhs, textura areia a areia franca e estrutura em grão simples, com exceção do horizonte A, que apresenta estrutura granular pequena e fracamente desenvolvida. As transições dos horizontes E e Bhs apresentam variações principalmente com relação às classes de drenagem,

sendo irregulares e claras/abruptas nos bem a excessivamente drenados (Figura 9) e onduladas/planas e claras/abruptas nos moderadamente a muito mal drenados. Quimicamente, são solos fortemente ácidos a neutros, com baixíssima soma de bases ($<1,0 \text{ g kg}^{-1}$), distróficos e com alta saturação por alumínio (Quadro 3).

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Espodossolo Ferri-Humilúvico Órtico típico. Dados extraído de Rosolem (2024).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila	
A	0-15	940	38	21	1,81
EA	15-30	968	27	5	4,80
E	30-50	974	23	4	5,75
Bhs1	50-65	878	55	67	0,82
Bhs2	65-100	885	76	39	1,95
Bh	100-110	929	33	38	0,87

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A	4,7	0,20	0,30	0,10	0,00	2,2	7,2	7,8
EA	6,3	0,10	0,60	0,10	0,00	0,7	4,2	5,0
E	6,5	0,10	0,30	0,00	0,00	0,4	3,3	3,7
Bhs1	6	0,00	0,10	0,00	0,00	0,1	2,3	2,4
Bhs2	5,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1	2,3	2,3
Bh	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1	2,3	2,3

Horizontes	Al	V	Fep	Feo	Fed	C orgânico
	%		g kg ⁻¹			
A	8	78	-	-	0,06	32,7
EA	16	46	-	-	-	2,4
E	10	50	-	-	-	0,7
Bhs1	4	50	5,84	8,4	6,63	31,1
Bhs2	0	100	0,93	1,09	1,76	42,2
Bh	0	100	nd	0,26	0,34	12,7

Fep: ferro extraído com pirofosfato de sódio; Feo: ferro extraído com oxalato de amônio; Fed: ferro extraído com ditionito, citrato e bicarbonato de sódio.

4.2 Gleissolos

Apresentam horizontes glei, que são caracterizados pela prevalência do estado reduzido do solo, no todo ou em parte, devido à prolongada saturação por água. Essas condições reduzidas, combinadas à atividade de microrganismos, condicionam processos biogeoquímicos de óxidorredução, que imprimem aos solos mudanças persistentes nas suas características morfológicas (Vasilas e Vasilas, 2013; Vepraskas e Vaughan, 2016).

Uma das mudanças mais proeminentes ocorre nas cores desses horizontes prolongadamente saturados. Em horizontes oxidados, os óxidos de ferro são um dos principais agentes de pigmentação natural dos solos, tingindo-os com cores que variam do amarelo ao vermelho (Ribeiro et al., 2012). Contudo, quando os compostos de ferro e manganês são reduzidos, como manifestação dos processos biogeoquímicos da redução e dissolução do Mn^{2+} e Fe^{+2} (gleização), a cor gradualmente torna-se cinza. As cores acinzentadas normalmente são decorrentes das misturas das cores das partículas de quartzo e argilominerais ali presentes (Vepraskas e Vaughan, 2016). No caso dos horizontes glei, essas características são identificadas pelas cores acinzentadas, azuladas, esverdeadas ou neutras, de maneira contínua ou com a presença de feições redoximórficas (mosqueamento) de cores mais vivas, ou ainda pelo uso de indicador químico de ferro reduzido (Santos et al., 2018).

4.2.1 Gleissolos Tiomórficos Hísticos típicos

Na Planície Costeira Setentrional catarinense, os Gleissolos Tiomórficos apresentam essencialmente materiais sulfídricos, sendo rara a ocorrência de horizontes sulfúricos em condições naturais (sem interferência antrópica). São facilmente observados nas planícies fluviomarinhas e de maré sob vegetação de mangue, nas planícies aluviais, sob vegetação de transição restinga-manguezal e nas planícies lagunares (*lato sensu*) sob restinga herbácea e subarbustiva de banhados, lagunas e baixadas.

Estes solos são comumente incluídos nas unidades de mapeamento denominadas “Solos indiscriminados de mangue”. Contudo, a distribuição dos Gleissolos Tiomórficos é possivelmente muito maior que a indicada nesses levantamentos, especialmente nas áreas relativamente mais elevadas com vegetação de restinga arbustiva e arbórea, devido à amostragem com profundidade insuficiente e ausência de cuidados no armazenamento, no transporte e nas análises requeridas para a identificação destes solos (Rosolem et al., 2025).

São solos que apresentam sequência de horizontes H-Cgj ou A-Cgj, horizonte H hístico, A húmico ou A proeminente (Figura 10). As cores, nos horizontes super-

ficiais, variam do preto ao bruno-escuro, e os horizontes Cgj apresentam cores acinzentadas, azuladas a neutras. A textura varia de francoarenosa a argila, com predomínio de estrutura pequena forte granular e/ou blocos subangulares, nos horizontes A, e estrutura maciça nos horizontes Cgj, sendo comum ainda horizontes Cgj com textura arenosa conjugada a estrutura grão simples com aspecto maciço. São solos com pH neutro a levemente ácidos nas condições muito mal drenadas sob vegetação hidrófila, e fortemente ácidos nas condições imperfeitamente a mal drenadas sob vegetação higrófila. Em função da textura mais argilosa comparada à dos demais solos costeiros, possuem uma maior CTC e disponibilidade de bases, contudo, a depender da posição fisiográfica, podem apresentar salinidade (condutividade elétrica) e saturação por sódio elevadas, além de estarem sujeitos à acidificação extrema se drenados (Quadro 4).

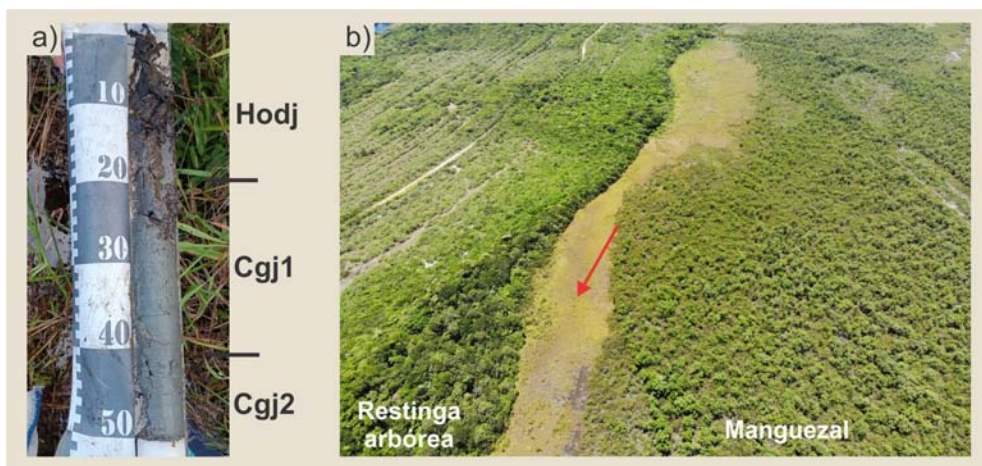


Figura 10. Seção do perfil complementar de Gleissolo Tiomórfico Hístico típico (a), permanentemente inundado, localizado em transição restinga-manguezal (b), sob vegetação herbácea e/ou subarbustiva de lagunas, banhados e baixadas (Florianópolis-SC). Fonte: Dos autores (a) e Tadeu M. P. Nogueira (b).

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Gleissolo Tiomófico Hístico típico. Dados extraídos de Rosolem (2024).

Horizontes	Profundida- de (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila	
Hodj	0-20	-	-	-	-
Cgj 1	20-42	40	560	400	1,40
Cgj 2	42-52+	50	420	530	0,98

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7}
Hodj	5,8	9,0	4,4	0,6	0,3	0	4,2	18,5
Cgj 1	7,3	3,9	6,9	0,7	0,6	7,0	3,9	23,0
Cgj 2	7,8	4,5	9,7	0,8	0,8	14,6	4,8	35,2

Horizontes	Al	V	Na	pHox 1:1	pHinc ≤1:1	CE _{1:5} dS.m ⁻¹	C orgânico
	%						g kg ⁻¹
Hodj	77	23	1,7	1,95	4,10	0,4	87
Cgj 1	53	24	2,5	1,55	3,24	0,5	35
Cgj 2	45	23	2,2	1,54	2,92	1,2	29

pHox: pH em peróxido de hidrogênio 30% a pH 5,25; pHinc: valor do pH após período de incubação de 9 e/ou 19 semanas; CE: condutividade elétrica da suspensão solo:água 1:5.
Observação: perfil completo coletado com tubo à percussão, e perfil complementar coletado com trado russian peat borer.

4.3 Neossolos

São solos pouco evoluídos que, de forma geral, apresentam pouca expressão de processos pedogenéticos em relação ao material de origem. Na Planície Costeira Setentrional, os Neossolos Quartzarênicos representam a classe predominante, de maneira que os Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos, embora presentes, apresentam distribuição bem restrita na paisagem.

4.3.1 Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos

São solos poucos desenvolvidos e de textura areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície ou até o contato lítico ou lítico fragmentário quando ocorrem a partir de 50 cm da superfície. Apresentam a composição mineralógica da fração areia composta essencialmente de quartzo, calcedônia e opala e são praticamente ausentes de minerais menos re-

sistentes ao intemperismo. Estão presentes em quase todas as formas de relevo, condições de drenagem e tipos de vegetação e fitofisionomias da Planície Costeira Setentrional, mas são predominantes nas planícies e terraços marinhos e nas dunas e lençóis de areia estabilizados.

São solos muito profundos (espessura >150 cm), com sequência de horizontes A-C que, na maioria das vezes, apresenta pouca diferenciação de horizontes (Figura 11). Os horizontes normalmente apresentam estrutura grão simples ao longo de todo o perfil, a qual pode ser combinada à estrutura granular pequena e fraca nos horizontes superficiais. Em geral, são solos fortemente ácidos a neutros, com conteúdo de carbono orgânico muito baixo, baixíssima soma de bases ($<1,0 \text{ g kg}^{-1}$), distróficos e com elevada saturação por alumínio. As demais características morfológicas têm variações que podem estar relacionadas à idade do material de origem e/ou às condições de drenagem (Quadro 5).

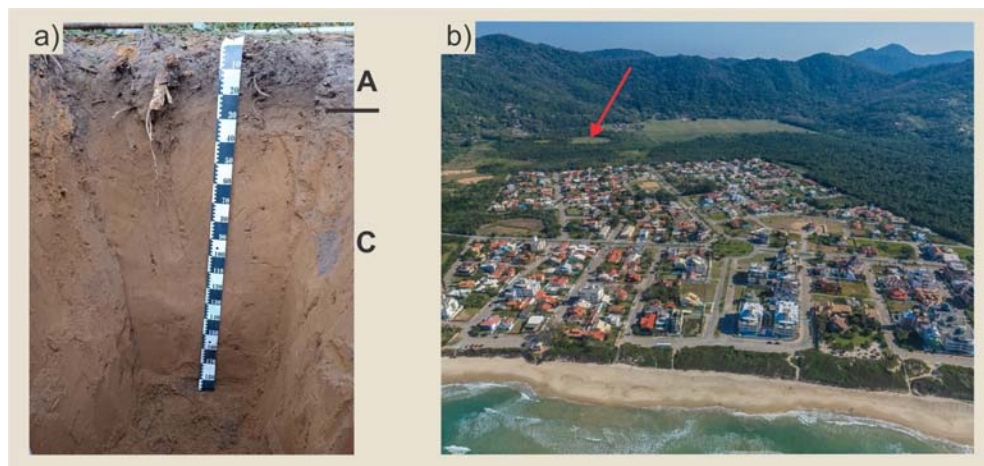


Figura 11. Perfil de Neossolo Quartzarênico Órtico típico (a) localizado em terraço marinho (b) com retrabalhamento eólico de idade pleistocênica (Florianópolis-SC). Fonte: Dos autores (a) e Mauro Goulart (b).

Nos terraços marinhos retrabalhados por processos eólicos com idade inferida pleistocênica e em condições excessivamente drenadas, os Neossolos Quartzarênicos apresentam uma sequência de horizontes do tipo A-C com transicionais. O horizonte A é do tipo moderado com espessuras variando de 10 a 20 cm, cores cinzentas a brunadas e transições planas e abruptas a claras. Já no horizonte C, as cores variam de bruno-amareladas a bruno-avermelhadas com matizes entre 5YR e 10YR, comumente com valores 4 e 5 e cromas de 4 a 6, teores de argila com

média de 5 a 9% e um aumento de compacidade em profundidade, que se traduz em uma estrutura grão simples com aspecto maciço e transições difusas.

Já nas formas de relevo com idade inferida holocênica e em condições excessivamente drenadas, os horizontes A são do tipo moderado ou fraco, com cores acinzentadas e predomínio da estrutura em grão simples. Por sua vez, os horizontes C apresentam cores bruno a bruno-amareladas, comumente nos matizes 7,5YR e 10YR com valores ≥ 5 e croma ≤ 4 , e teores de areia superiores a 98%. Frequentemente observa-se pouco desenvolvimento de horizontes, com exceção de um horizonte A sobrepondo camadas C (Figura 11). Já nas condições imperfeitamente a muito mal drenadas, observa-se a sequência de horizontes A-Cg e H-Cg, com horizontes superficiais A moderado, A húmico e Hístico e horizontes C glei com matriz reduzida de cores cinzentas a cinza-esverdeadas.

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Dados extraídos de Rosolem (2024).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila	
A	0-14	938	21	40	0,52
AC	14-22	938	20	42	0,47
CA	22-35	931	24	45	0,53
C1	35-100	934	18	48	0,37
C2	100-160	925	23	52	0,44
C3	160-190	915	22	63	0,35

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A	4,1	0,02	0,20	0,12	0,13	1,09	7,26	7,7
AC	3,7	0,00	0,04	0,03	0,03	1,78	4,79	4,9
CA	3,2	0,00	0,02	0,02	0,03	1,41	3,14	3,2
C1	4,3	0,00	0,00	0,01	0,02	1,30	3,14	3,2
C2	4,2	0,00	0,00	0,01	0,01	1,30	2,97	3,0
C3	3,9	0,00	0,00	0,02	0,01	1,33	3,96	4,0

Quadro 5. Continuação.

Horizontes	Al	V	Na	CE _{1:5} dS.m ⁻¹	C orgânico
	%				g kg ⁻¹
A	6	14	1,7	0,03	7,1
AC	2	36	0,7	0,02	8,1
CA	2	44	0,8	0,01	6,2
C1	1	41	0,5	0,01	2,9
C2	0,8	43	0,4	0,01	1,9
C3	0,8	33	0,3	0,01	2,0

CE: condutividade elétrica da suspensão solo:água 1:5.

4.4 Organossolos

São formados em condições muito mal drenadas em regime de saturação por água ou inundação praticamente permanente ao longo do ano, sendo encontrados com frequência em antigos corpos d'água, como lagunas, lagos e meandros abandonados. Estão localizados com maior abrangência normalmente em planícies lagunares-lacustres, fluviomarinhas e de maré, sob restinga herbácea e/ou subarbustiva de banhados, lagunas e baixadas, restinga arbustiva/arbórea paludosa e/ou vegetação de mangue. Também podem ser encontrados, porém com dimensões espaciais mais restritas, nas cavas (porções convexas) entre cordões litorâneos.

4.4.1 Organossolos Tiomórficos Hêmicos térricos

Compreendem a classe dos solos orgânicos que apresentam material sulfídrico ou horizonte sulfúrico dentro de 100 cm a partir da superfície. Contudo, não foram observados horizontes sulfúricos em condições naturais nesta classe de solo no litoral catarinense até o momento. Possuem maior abrangência nas planícies fluviomarinhas e de maré sob vegetação de mangue – onde, juntamente dos Gleissolos Tiomórficos, compõem complexos das unidades de mapeamento ditas “Solos indiscriminados de mangue” – bem como nas planícies lagunares (*latu sensu*) sob vegetação de restinga herbácea a arbórea.

São solos profundos que apresentam sequência típica de horizontes Hj-Cgj com horizontes hísticos com espessura de até alguns metros (Figura 12). Esses horizontes apresentam cores pretas e bruno muito escuro, normalmente nos matizes 7,5YR e 10YR com valor e cromas muito baixos (≤ 2), com diferentes graus de decomposição da matéria orgânica, porém com predomínio do estágio hêmico

(quando analisado em laboratório). Já os teores de resíduo mineral e materiais sulfídricos são variáveis, sendo normalmente menores nos solos com horizontes hísticos muito espessos e com tendência de aumento em profundidade. Esses solos também apresentam estrutura fortemente desenvolvida do tipo granular, nos horizontes submetidos à aeração (oscilação do nível freático), e maciça (ou ao menos aparência maciça) nos permanentemente saturados. Por sua vez, os horizontes Cgj possuem textura diversa, desde areia até argila, cores cinzentas, azuladas ou esverdeadas, estrutura grão simples ou maciça (Quadro 6).

Por estarem inundados ou com lençol freático na superfície durante praticamente o ano todo, representam um desafio para a coleta e a descrição, sendo necessário trados especiais para coleta em profundidade sem deformação dos horizontes e muitas amostragens do mesmo ponto. Além disso, podem ter uma grande variabilidade morfológica (graus de decomposição e cores) e espacial na ordem de metros, o que torna difícil a separação dos horizontes e a identificação das transições por meio dos trados. São solos de pH ácido a neutro, com elevada CTC, disponibilidade de bases, contudo com alta acidez potencial. Além disso, a depender da posição fisiográfica, podem apresentar salinidade (condutividade elétrica) e saturação por sódio elevadas, além de estarem sujeitos à acidificação extrema e subsidência se drenados.

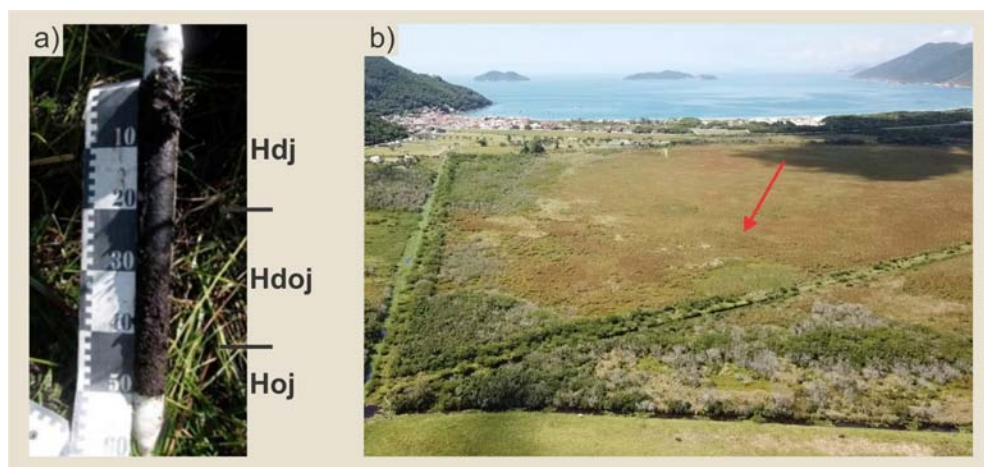


Figura 12. Seção do perfil complementar de Organossolo Tiomórfico Hêmico térrico (a) em paleolaguna da época Holoceno (b), sob restinga herbácea e subarbustiva (seta vermelha) (Florianópolis-SC). Fonte: Dos autores (a) e Eugênio Luiz Gonçalves (b).

Quadro 6. Dados físicos e químicos do Organossolo Tiomórfico Hêmico térrico. Dados extraídos de Rosolem (2024).

Horizontes	Profundi- dade (cm)	FE	IP	Textura	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
					Areia	Silte	Argila	
Hdj	7-22	16	2,0	sáprica	-	-	-	-
Hdoj	22-42	28	3,0	hêmica	-	-	-	-
Hoj	42-50	40	5,5	fíbrica	-	-	-	-
Cgj	50-83	-	-	arenosa	942	22	36	0,61
2Cgj	83-95	-	-	arenosa	969	18	13	1,38
2Cgj2	95-110	-	-	arenosa	978	14	8	1,75

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7}
Hdj	5,7	14,26	4,95	0,33	2,30	1,2	33,3	55,2
Hdoj	5,7	20,27	10,78	0,26	4,57	0,7	45,0	80,9
Hoj	5,9	14,38	6,80	0,44	4,70	0,9	45,9	72,3
Cgj	6,0	0,04	1,08	0,01	0,28	4,2	-	-
2Cgj	6,9	0,05	0,96	0,03	0,38	1,5	6,3	7,7
2Cgj2	7,3	0,04	0,93	0,03	0,33	0,9	5,3	6,6

Horizontes	Al	V	Na	S _{Cr}	pHox 1:1	pHinc ≤1:1	C orgânico
	%						g kg ⁻¹
Hdj	39,6	2,1	4,2	-	1,95	4,50	287,7
Hdoj	44,3	0,8	5,6	0,08	1,93	4,78	426,2
Hoj	36,4	1,2	6,5	-	1,93	3,51	416,2
Cgj	-	-	-	0,48	1,52	2,00	10,5
2Cgj	18,4	19,8	5,0	0,48	1,20	1,94	3,2
2Cgj 2	20,1	13,4	5,0	0,14	1,97	1,78	1,5

FE: fibras esfregáveis; IP: índice pirofosfato; pHox: pH em peróxido de hidrogênio 30% a pH 5,25; pHinc: valor do pH após período de incubação de 9 e/ou 19 semanas; CE: condutividade elétrica da suspensão solo:água 1:5. Observação: perfil completo coletado com tubo à percussão, perfil complementar coletado com trado russian peat borer e minerais coletados com tubo à percussão.

5 Feições morfológicas típicas

Dentre as principais características morfológicas observadas nos solos da região abordada estão as feições redoximórficas, o caráter carbonático e o hipocarbonático. Em virtude da baixa altitude da Planície Costeira Setentrional, na maioria das vezes, o nível freático pode ser observado dentro da seção de controle de um perfil de solo. Desse modo, as características morfológicas indicativas de processos de oxidorredução são recorrentes. As feições mais comuns de se observar são: matriz reduzida, concentrações redox (mosqueamento) e “cheiro de ovo podre”. A matriz reduzida é a feição que caracteriza horizontes com cores de fundo neutras, acinzentadas, azuladas ou esverdeadas decorrentes da redução e dissolução do Mn^{2+} e Fe^{2+} , que permanecem no perfil e podem ser identificados com indicadores químicos (Figura 13a,b).

Outra forma de identificar a presença do Mn^{2+} e Fe^{2+} no perfil é com a formação de concentrações redox. Essas feições são formadas quando o ferro e o manganês reduzidos migram para microssítios óxicos (ex. rizosfera) e precipitam na forma de óxidos. Esses microssítios podem concentrar mais ferro e manganês, que acabam pigmentando estas porções com massas de cores vivas (mosqueados) e contrastantes com a matriz reduzida de fundo. Dentre essas, destacam-se as massas de cores amarelo-esverdeadas indicativas do mineral jarosita (Figura 13c), um sulfato hidratado de ferro e potássio formado a partir da oxidação dos materiais sulfídricos e que é também indicativo de horizontes sulfúricos.

Por fim, a redução dos sulfatos gera como um produto o gás sulfídrico (H_2S), que possui um distinto odor de ovo podre. Embora essa não seja uma característica morfológica, é um indicador olfativo de redução química ocorrendo no solo. O gás sulfídrico só pode ser formado quando o solo está saturado ou inundado, anaeróbico e altamente reduzido por um relativo longo período; logo, não é encontrado em condições não saturadas e aeróbicas (Vasilas e Vasilas, 2013). Em condições que o solo contenha já ferro reduzido, o gás sulfídrico pode reagir e formar sulfetos de ferro (materiais sulfídricos). A identificação do cheiro de gás sulfídrico não necessita levar o solo próximo ao nariz, pois é possível senti-lo no momento da abertura de trincheira ou tradagem. É uma característica mais comum de ocorrer nos solos que tenham contato com a água do mar.

Os caracteres carbonático e hipocarbonático se referem à presença de $CaCO_3$ equivalente sob qualquer forma de segregação, incluindo nódulos e/ou concreções, diferindo entre si pela quantidade presente, da seguinte forma: $CaCO_3$ equivalente $\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$ e entre 50 e $< 150 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Nos solos costeiros é possível observar, em profundidade, a presença natural de conchas de moluscos, cujo principal constituinte são os carbonatos de cálcio. Essas conchas podem ocorrer inteiras e/ou fragmentadas em dimensões menores que 2 mm

(Figura 13d), podendo representar uma importante capacidade natural de tamponamento do pH aos efeitos advindos da oxidação dos materiais sulfídricos.



Figura 13. Feições morfológicas típicas: (a) matriz reduzida; (b) matriz reduzida com reação positiva (rosa/vermelha) ao indicador químico de Fe^{+2} - α , α' dipiridyl (bipiridina); (c) feições redoximórficas amarelas de jarosita em horizonte com material sulfídrico exposto à drenagem; (d) caracteres carbonático e hipocarbonático com a concentração de fragmentos de conchas. Fonte: Dos autores.

6 Limitações de uso agrícola

Os solos da Planície Costeira Setentrional de Santa Catarina apresentam uma série de características e limitações que impactam diretamente seus usos agrícola e urbano. De maneira geral, esses solos são ácidos, com baixos teores de nutrientes, baixos valores de pH e alta saturação por alumínio, resultando em uma baixa fertilidade natural. As classes de solos predominantes, como Espodossolos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos e Organossolos, possuem restrições distintas que devem ser levadas em consideração para qualquer tipo de manejo.

Os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, comuns nas áreas mais aptas à urbanização, apresentam textura arenosa e mineralogia essencialmente quartzosa. Essas características implicam uma rápida taxa de infiltração de água e baixa capacidade de adsorção de íons, o que resulta em uma aptidão limitada para uso agrícola. Quando bem drenados, esses solos são altamente suscetíveis à erosão e à lixiviação de nutrientes, exigindo práticas de manejo cuidadosas, como a rotação de culturas e o uso de coberturas vegetais. Além disso, sua baixa capacidade de retenção de nutrientes dificulta o desenvolvimento de sistemas agrícolas intensivos sem intervenções frequentes, como adubação e correção de pH.

Por outro lado, os Gleissolos e Organossolos Tiomórficos, com características de baixa drenagem e a presença de enxofre, possuem restrições ainda mais severas, tanto físicas quanto químicas. Esses solos, frequentemente associados a ambientes inundados ou sujeitos à inundações, são menos adequados para a agricultura convencional. A drenagem desses solos pode resultar em pH extremamente baixo – inferior a 3,5 – devido à formação de ácido sulfúrico, o que limita ainda mais o seu uso. Contudo, esses solos podem ser preservados ou utilizados para vegetação adaptada a ambientes saturados, como manguezais, ou para práticas de pastagem adaptadas em áreas inundadas.

Além disso, a presença de salinidade e sodicidade em alguns solos costeiros torna o uso agrícola ainda mais desafiador. Solos com alta saturação por sódio e elevados valores de condutividade elétrica (indicativos de salinidade) dificultam o crescimento de muitas culturas, uma vez que o excesso de sal interfere na absorção de água pelas plantas. Essas condições exigem o uso de cultivos tolerantes ao sal ou a implementação de sistemas de drenagem eficazes para reduzir o impacto da salinidade no solo. Mesmo em áreas onde a salinidade é controlada, como nas pequenas porções de Gleissolos utilizadas para a produção de arroz irrigado, a ausência de salinidade é um pré-requisito fundamental para o sucesso das culturas alagadas.

O conhecimento detalhado das características físico-químicas e da dinâmica dos solos da Planície Costeira Setentrional é essencial para o desenvolvimento de estratégias de uso sustentável. Embora a agricultura convencional seja limitada

em algumas áreas, o uso de técnicas adequadas, como o controle da salinidade, a drenagem eficiente e o uso de espécies vegetais adaptadas, pode viabilizar o cultivo em algumas condições. Além disso, os solos costeiros desempenham um papel crucial na preservação dos ecossistemas, servindo como áreas de refúgio para vegetação nativa e zonas de preservação, o que torna a gestão integrada da terra essencial para garantir tanto o uso sustentável quanto a proteção ambiental.

7 Potencial de uso das terras

A Planície Costeira Setentrional catarinense tem sido palco de uma intensa transformação do uso e da cobertura da terra, com uma transição significativa de áreas rurais para urbanas desde a década de 1970. No entanto, ao se considerar o uso agrícola e a adequação desses solos à agricultura, é essencial compreender as limitações impostas pelas características pedológicas predominantes. Embora os solos da região apresentem algumas aptidões para usos específicos, tais como agricultura, pastagens, silvicultura e preservação ambiental, há uma série de desafios a serem considerados no planejamento e manejo das áreas.

Os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, comuns nas áreas mais aptas à urbanização da Planície Costeira, apresentam características que os tornam limitados para a agricultura, em especial para culturas de maior exigência nutricional. Dessa forma, seu uso agrícola é frequentemente restrito a pastagens e florestas, que exigem menos insumos e apresentam maior resiliência às limitações dessas terras.

No que tange ao saneamento ambiental, é importante ressaltar que, em função das características de drenagem rápida, esses solos também são impróprios para o uso como sumidouros de efluentes sanitários, devido ao risco de contaminação das águas subterrâneas, especialmente quando o nível freático é elevado. Para esses solos, um uso sustentável e adequado envolve implementar técnicas de manejo específicas, como o uso de sistemas de drenagem e tratamento de efluentes, além de promover a vegetação nativa e o controle de erosão para preservar a qualidade ambiental da região.

Os Gleissolos e Organossolos, por sua vez, apresentam limitações distintas, principalmente devido à sua baixa capacidade de suporte para edificações e sua associação com ambientes inundáveis. Esses solos, frequentemente localizados em áreas de mangue e restinga, possuem uma dinâmica hídrica muito característica, o que os torna adequados apenas para usos muito específicos, como pastagens, quando a legislação permite, ou para atividades que envolvem o uso sustentável da vegetação nativa.

Apesar dessas limitações para o uso agrícola convencional, os Gleissolos e

Organossolos desempenham funções ambientais essenciais, e especial na proteção e manutenção dos ecossistemas costeiros. Esses solos estão intimamente relacionados a áreas de preservação permanente, como os manguezais e as restingas herbáceas, que são vitais para a proteção da biodiversidade local e o controle da erosão costeira. Em termos de aptidão agrícola, esses solos apresentam condições desfavoráveis para culturas intensivas devido à sua saturação hídrica e à baixa capacidade de suporte de carga, mas podem ser utilizados para cultivos adaptados a essas condições, como espécies tolerantes à salinidade ou pastagens em áreas de uso controlado.

Os Gleissolos, especialmente os localizados em porções muito específicas, mas ainda inseridas na Planície Costeira Setentrional, possuem características que os tornam propensos ao uso agrícola em determinadas condições, particularmente para a produção de arroz irrigado. Esses solos, por sua natureza, são encontrados com frequência em ambientes saturados por água, com alta incidência de períodos alagados, o que pode ser favorável para cultivos de arroz irrigado. Em algumas porções ao longo da costa catarinense, a prática de cultivo de arroz irrigado tem sido aplicada com certo sucesso, aproveitando-se da saturação hídrica característica dos Gleissolos e transformando-os em áreas de cultivo inundadas. Entretanto, em grande parte da região, os Gleissolos são mais adequados para outros tipos de uso, como pastagens ou preservação de ecossistemas naturais, devido às limitações impostas pela saturação hídrica excessiva ou pela necessidade de técnicas de manejo mais complexas.

Portanto, a aptidão agrícola desses solos deve ser entendida de forma mais ampla, levando em consideração não apenas os usos tradicionais da agricultura, mas também as possibilidades de manejo sustentável, a preservação dos ecossistemas locais e a compatibilização do uso agrícola com os requisitos legais e ambientais. Em suma, a gestão adequada dessas áreas exige uma abordagem integrada que considere tanto as limitações físicas dos solos quanto sua função ecológica, garantindo sua conservação e sustentabilidade a longo prazo.

8 Considerações finais

As classes de solos predominantes na Planície Costeira Setentrional de Santa Catarina, tais como Espodossolos, Gleissolos, Neossolos e Organossolos, revelam a complexidade e diversidade de processos pedogenéticos que ocorreram durante a última transgressão e regressão marinha no Holoceno. Esses solos, formados sob influências sedimentares e biogênicas, são caracterizados por uma elevada variabilidade e limitações para o uso agrícola.

Em termos de fertilidade, todos os solos abordados neste estudo apresentam

características que os tornam desafiadores para a agricultura. O pH naturalmente baixo, aliado a uma alta saturação por alumínio, configura um ambiente com uma baixa disponibilidade de nutrientes essenciais. Essas condições exigem manejo específico, como a calagem, para corrigir a acidez e melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Além disso, os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, com predominância de textura arenosa, enfrentam maiores dificuldades em relação à retenção de água e nutrientes, o que pode intensificar processos erosivos, especialmente em terrenos bem drenados. A lixiviação é uma preocupação constante nesses solos, pois os nutrientes solúveis são facilmente perdidos durante chuvas intensas, comprometendo a produtividade agrícola. Para tais solos, estratégias de conservação, como o uso de cobertura vegetal e práticas de plantio adequado, são fundamentais para mitigar esses efeitos.

Outro ponto crítico está relacionado à presença potencial de materiais contendo enxofre inorgânico reduzido e a problemas de salinidade ou sodicidade, particularmente nos Gleissolos e Organossolos, que podem limitar ainda mais a fertilidade.

O mapeamento e a compreensão das classes de solos costeiros são fundamentais para o desenvolvimento de abordagens integradas, que considerem não apenas a aptidão agrícola desses solos, mas também a importância de sua preservação e manejo sustentável. Estratégias de uso agrícola nessas áreas devem ser cuidadosamente planejadas, levando em conta as limitações mencionadas e respeitando as especificidades locais, para que seja possível compatibilizar o uso agrícola com a preservação ambiental.

Assim, o conhecimento detalhado das características e limitações dos solos da Planície Costeira de Santa Catarina é essencial para a gestão territorial eficaz, que deve almejar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade dos ecossistemas costeiros, fundamentais para a manutenção dos recursos naturais e da biodiversidade regional.

9 Referências

Angulo R, Lessa G, Souza M. A critical review of mid to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. 25: 486-506. 2006.

Bitencourt VJB. Fatores de controle na formação e evolução da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. 2019. 163f. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Corrêa ICS. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du rio grande do sul-brésil. *Marine Geology*. 130: 163-178 1996.

Goslin J, Clemmensen, LB. Proxy records of Holocene storm events in coastal barrier systems: storm-wave induced markers. *Quaternary Science Reviews*. 174:80-119, 2017.

Heberle DA. Heterogeneidade ambiental do Parque Estadual do Rio Vermelho, Florianópolis - SC. 2012. 126 Mestrado (Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental). Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC 2012.

Heberle DA. Distribuição e gênese de Espodossolos da Planície Costeira Norte do Estado de Santa Catarina. 2017.160 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2017.

Heberle DA, Almeida JA, Vidal-Torrado P. Calcination as an alternative method to classify Spodosols on the second categorical level. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44: 1-15, 2020.

Horn Filho NO, Felix A, Camargo JM. Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários (AGPCSC). 1ed. Florianópolis: Edições do Bosque, 2020. 331p.

IBGE; IPUF. Estudos ambientais da Grande Florianópolis: Solos. Florianópolis: DI-GEO/SUL, 1994. 1 mapa. Escala 1:100.000.

IBGE. Geomorfologia. In: IBGE. BDIA: banco de dados e informações ambientais. Rio de Janeiro, 2024a. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 01 agosto de 2024. Escala 1:250.000.

IBGE. Pedologia. In: IBGE. BDIA: banco de dados e informações ambientais. Rio de Janeiro, 2024b. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 01 agosto de 2024. Escala 1:1.000.000.

Luiz EL. Geomorfologia. In: Santa Catarina. Secretaria de Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia; Isa de Oliveira Rocha. (eds.). Atlas geográfico

de Santa Catarina: diversidade da natureza. fascículo 2. 2ed. Florianópolis: UDESC, 2016, v. 2, p. 91-108.

Muehe D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Cunha SB, Guerra AJT. (eds). Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.110-123.

Paisani JC. Estratigrafia, significado paleoambiental e evolução de rampa arenosa/dissipação no balneário Praia Mole - Ilha de Santa Catarina. Florianópolis. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

Pandolfo C, Braga HJ, Silva Jr VP, Massignam AM, Pereira ES, Thomé VMR, Valci, FV. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002.

Potter RO, Carvalho AP, Flores CA, Bognola I. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

Ribeiro MR, Oliveira LB, Araújo Filho JC. Caracterização morfológica do solo. In: Ker JC, Curi N, Schaefer CEGR, Vidal-Torrado P. (Eds.). Pedologia: fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p.47-80.

Rosolem GPN. Evolução morfopedológica da Planície Costeira do Pântano do Sul e o significado ambiental dos solos ácidos sulfatados. 2024. 400 f. Tese (Doutorado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC 2024.

Rosolem GPN, Zanardo YAZ, Vilella EC, Heberle DA, Loss A. Methodological and environmental implication for coastal soil identification as support for land management. Rev Bras Cienc Solo. 2025; v49:e0240105.

Santos HG, Jacomine,PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbrreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. rev. e ampl. Brasília,DF: Embrapa, 2018. 356p.

Suguio K. Geologia do quaternário e mudanças ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 408 p.

Uberti AAA, Sartor LR. Cobertura pedológica do Município de Joinville. Joinville-SC: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2012. Escala 1:10.000.

Vasilas LM, Vasilas BL. Hydric Soil Identification Techniques. Wetland Techniques, [S.L.], p. 227-272, 2013.

Vepraskas MJ, Vaughan KL. Morphological features of hydric and reduced soils. In: Vepraskas MJ, Craft CB. (eds). Wetlands Soils: Genesis, hydrology, landscapes and classification. Second edition. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 189 - 218.

Villwock JA, Tomazelli LJ. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre, 8:1-45. 1995.



Solos de montanha da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil

Eduardo Carvalho da Silva Neto¹; Marcos Gervasio Pereira¹.

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

1 Introdução

As regiões de montanha da Mata Atlântica, localizadas na região Sudeste do Brasil, abrigam uma grande diversidade de solos, refletindo a complexidade de processos geológicos, geomorfológicos, climáticos e biológicos que moldam essas paisagens (Marques e Grelle, 2021). São áreas caracterizadas por relevo com grande variação de declividade, altitudes elevadas que influenciam nos parâmetros climáticos e no embasamento geológico, o que resulta em uma grande heterogeneidade de classes de solos.

Os solos dessas regiões desempenham um papel fundamental na manutenção dos ecossistemas de montanha, influenciando diretamente na distribuição da vegetação, na dinâmica hídrica e no armazenamento de carbono (Fontana et al., 2023). Além de sua importância ecológica, os solos de montanha também são importantes para atividades humanas, como a agricultura e a pecuária, fornecendo serviços ambientais essenciais, como a regulação hídrica e a proteção contra a erosão. No entanto, esses solos são muitas vezes frágeis e sujeitos a processos erosivos intensos, sendo necessária uma gestão adequada para garantir a sua conservação e o seu uso sustentável.

Neste capítulo, são apresentadas as classes de solos encontradas tipicamente em regiões montanhosas como a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, localizadas em ambiente de Mata Atlântica na região Sudeste do Brasil, com destaque para suas características morfológicas, seu potencial de uso e suas limitações. A análise se baseia em dados pedológicos e em observações de campo, e busca fornecer uma visão sistêmica das condições edáficas dessas áreas e de suas interações com o ambiente natural e antrópico. Em síntese, o objetivo é contribuir para uma maior compreensão desses solos no contexto do conhecimento pedológico, facilitando o seu estudo e a aplicação do conhecimento no manejo sustentável das paisagens montanhosas.

2 Caracterização ambiental

As regiões montanhosas da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil formam um mosaico de vales, serras e encostas, de grande diversidade ambiental e relevância ecológica. São áreas de alta fragilidade ambiental, que abrangem uma notável variedade de *habitats* e sustentam ecossistemas únicos.

O clima subtropical condicionado pelo relevo ondulado e altitudes elevadas

(Figura 1), favorece a formação de solos com elevados teores de matéria orgânica nos horizontes e/ou camadas superficiais que sustentam ecossistemas com espécies endêmicas, podendo ser citados como exemplo os Campos de Altitude.

Essas regiões também apresentam relevância hídrica, pois abrigam as nascentes de importantes rios, o que reforça seu papel na conservação dos recursos naturais. Entre as formações geográficas mais proeminentes, destacam-se a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, que apresentam características geológicas e geomorfológicas distintas e essenciais para a compreensão dos processos naturais que modelam essas paisagens.

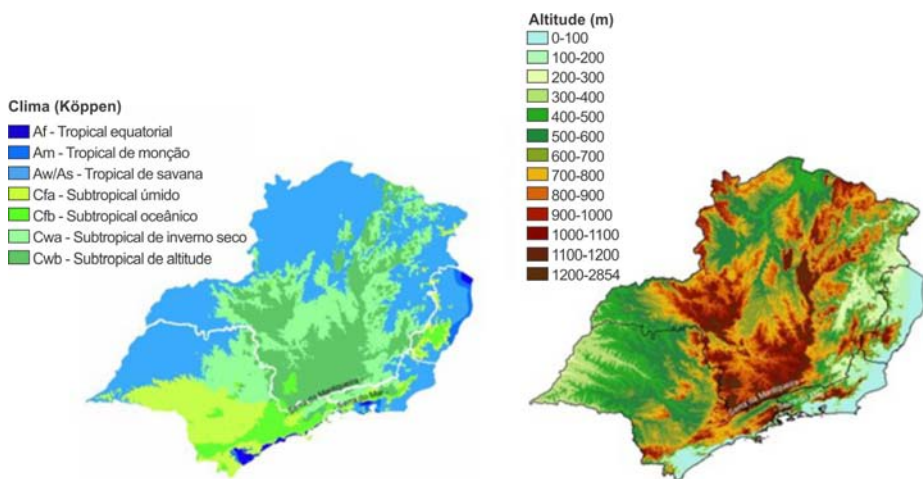


Figura 1. Tipos de clima e altitude na região Sudeste do Brasil. Fonte: Dos autores.

A Serra da Mantiqueira é uma das mais importantes elevações do Brasil, estando localizada na borda do Planalto Brasileiro. Geologicamente, a Serra da Mantiqueira é resultado de um complexo histórico de eventos tectônicos, que incluem a separação da placa Afro-Brasileira e o soerguimento da crosta durante o Neógeno e o Quaternário (Marques Neto et al., 2015). A presença de falhamentos ativos na região influencia diretamente a sua geomorfologia, caracterizada por altitudes elevadas, picos que ultrapassam os 2.000 metros e drenagens profundamente incisadas. Esses fatores tornam a Serra da Mantiqueira um ambiente de alta vulnerabilidade a processos erosivos e movimentos de massa. Além disso, a região se destaca pela sua beleza cênica, com paisagens montanhosas preservadas e de grande valor para o turismo ecológico.

A Serra do Mar, por sua vez, é uma cadeia montanhosa que se estende ao longo da Costa Sudeste do Brasil, sendo a principal barreira orográfica que separa o planalto do litoral. Sua origem também está relacionada a processos tectônicos, mas, diferentemente da Mantiqueira, apresenta maior diversidade de formas de

relevo, incluindo picos agudos, morros residuais e amplas bacias fluviais (Vieira e Gramani, 2015). Os processos tectônicos e geomorfológicos incluem a elevação da crosta cristalina no Sudeste do Brasil durante o Cretáceo devido à atividade de plumas mantélicas, seguida de erosão e formação de bacias sedimentares e esculpimento da escarpa ao longo de diferentes regimes paleoclimáticos. A geomorfologia desta região é fortemente influenciada pelas frequentes chuvas intensas de verão, que favorecem a ocorrência de movimentos de massa e a modelagem do relevo. Essas características tornam a ocupação da região um desafio, especialmente em áreas sujeitas a deslizamentos de terra e erosão.

Nas áreas mais elevadas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, predominam os Campos de Altitude e densas formações florestais, classificadas como Floresta Ombrófila Densa Altomontana, com grande quantidade de epífitas e espécies adaptadas ao clima mais frio e úmido. Em associação, essas formações figuram como um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica preservada no Brasil.

3 Relação solo-paisagem

Os solos dessas regiões montanhosas refletem principalmente a influência combinada dos fatores de formação, como clima, relevo, vegetação e material de origem. Nas áreas mais elevadas, onde o relevo é escarpado, com maior declividade, a erosão acentuada e o intemperismo físico predominam, resultando em solos rasos e com elevados teores de matéria orgânica nos horizontes superficiais, como os Neossolos Litólicos Hísticos (Figura 2). Esses solos são frequentemente encontrados em meio a afloramentos rochosos e em ambientes de Campos de Altitude, onde as condições climáticas, como baixas temperaturas e alta umidade relativa, favorecem a lenta decomposição da matéria orgânica, preservando-a na superfície do solo.

Associados a esses solos, em áreas com declividade um pouco menor, que possibilitam maior desenvolvimento do perfil do solo e acúmulo de matéria orgânica, são encontrados os Organossolos Fólicos em áreas com boa drenagem, em que a acumulação de matéria orgânica ocorre principalmente em função das temperaturas mais baixas. Próximo às redes de drenagem, em ambientes sujeitos a alagamento temporário ou permanente, também são observados os Organossolos Háplicos, associados a ambientes hidromórficos, com acúmulo de matéria orgânica em condições anaeróbicas (Silva Neto et al., 2019). Em ambos os casos, a influência das baixas temperaturas resulta em uma dinâmica de decomposição da matéria orgânica mais lenta, o que favorece a presença de solos orgânicos com espessuras mais significativas.

Em áreas de Floresta Montana e Altomontana, onde as condições de relevo e vegetação permitem a formação de solos mais espessos, encontram-se Cambissolos Hísticos. Esses solos apresentam horizonte O hístico e horizonte B incipiente, sendo formados a partir de materiais previamente intemperizados, que indicam um estágio incipiente de evolução pedogenética. Ainda nas áreas florestais, em relevo mais suave e com maior estabilidade geomorfológica, encontram-se os Latossolos com horizonte A húmico, geralmente muito espessos, com grandes estoques de carbono. Esses solos são resultantes de processos poligenéticos (Pereira et al., 2023). A presença de horizontes húmicos mais espessos é um reflexo da vegetação florestal densa e da baixa taxa de decomposição associada às condições de altitude.

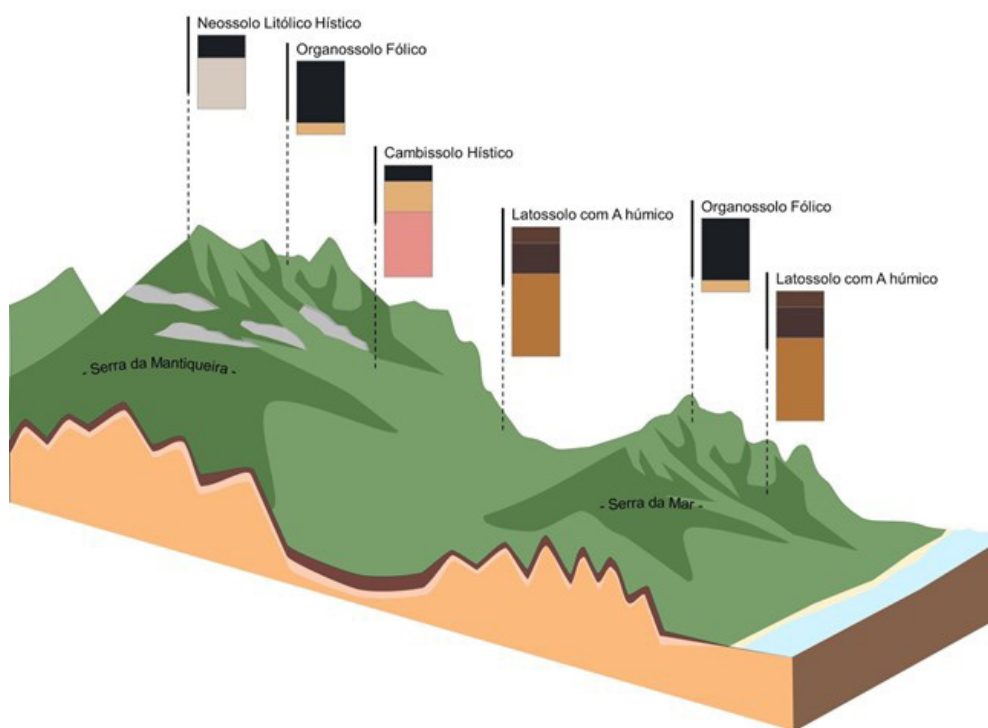


Figura 2. Representação esquemática da ocorrência de classes de solos típicos de regiões montanhosas da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil. Fonte: Dos autores.

Essas variações na distribuição dos solos e sua associação com o relevo e a vegetação demonstram a complexidade da paisagem pedológica das regiões montanhosas. A diversidade de classes de solos reflete os processos formadores que atuam de maneira diferenciada, em função das variações climáticas regionais, dos processos geomorfológicos e da influência do material de origem. Esse mosaico de solos é fundamental para a manutenção dos ecossistemas montanhosos, con-

trolando o desenvolvimento da vegetação, a retenção de água e o armazenamento de carbono, e influencia diretamente as práticas de manejo e uso sustentável dessas áreas.

4 Dados pedológicos

4.1 Neossolos Litólicos Hísticos típicos

São solos pouco desenvolvidos, com pequena profundidade e sem modificações significativas em relação ao material de origem. Isso ocorre devido à baixa intensidade dos processos pedogenéticos ou à maior resistência do material de origem ao intemperismo – por exemplo, por sua composição química e mineralógica. Sua ocorrência também pode estar relacionada à influência de fatores como clima, relevo e tempo, que podem impedir ou limitar a evolução do solo.

Os Neossolos Litólicos, em particular, têm contato com a rocha sólida ou fragmentada até 50 cm da superfície. Em ambientes de montanha, é comum apresentarem horizonte O hístico diretamente sobre a rocha, sobre um horizonte C ou Cr, ou sobre material com mais de 90% (em volume) de fragmentos grossos, como cascalhos ou pedras maiores que 2 mm de diâmetro (Santos et al., 2018). Quando o horizonte O hístico não atende aos critérios de espessura para Organossolos, são classificados como Neossolos Litólicos Hísticos (Figura 3). São solos frequentemente encontrados em áreas com afloramentos rochosos e declives acentuados na Serra da Mantiqueira e Serra do Mar (Silva Neto et al., 2018), como no Parque Nacional do Itatiaia, em regiões de Campos de Altitude. Nessas condições, o clima frio e úmido favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, resultando na formação de horizontes orgânicos (horizontes hísticos).

Nas áreas de maior inclinação, a erosão hídrica promove a constante remoção de material, limitando o desenvolvimento de solos mais profundos e formando horizontes hísticos pouco espessos (espessura menor que 20 cm) diretamente sobre a rocha ou material fragmentado. Os horizontes de constituição orgânica costumam apresentar material orgânico em estágio avançado de decomposição (sápico), baixo conteúdo de fibras e elevada Capacidade de Troca Catiônica (CTC) com predomínio de H^+ no complexo sortivo (Quadro 1). Dessa forma, a interação entre relevo, clima e processos pedogenéticos resulta em solos rasos, pouco evoluídos, com alta acidez e teores de carbono, altamente frágeis e suscetíveis à erosão.

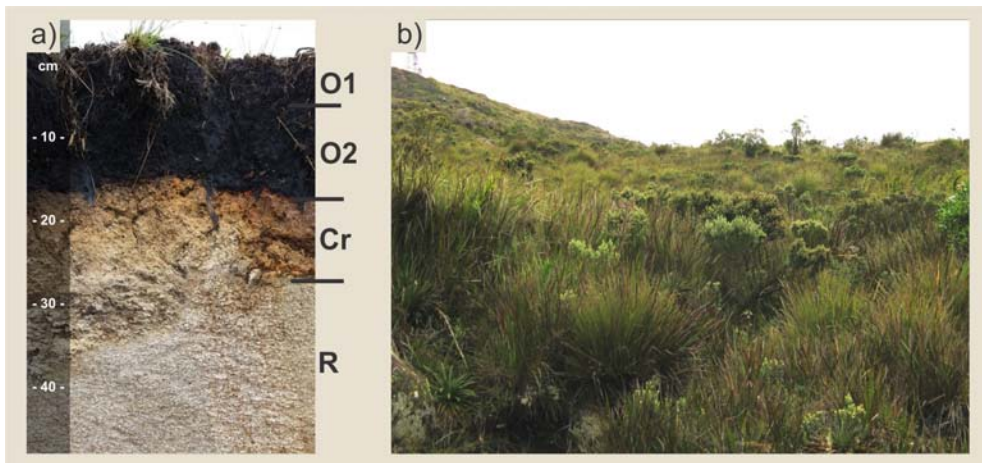


Figura 3. Perfil (a) e paisagem (b) de um Neossolo Litólico Hístico típico em área de Campos de Altitude, bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Dos autores.

Quadro 1. Dados físicos e químicos de um Neossolo Litólico Hístico típico. Dados extraídos de Silva Neto et al. (2018).

Horizontes	Profundidade (cm)	Caracterização dos horizontes orgânicos*				von Post
		Fibras NE %	Fibras E %	MO%	IP	
O1	0-5	15	10	41,8	3/2	sáprico
O2	5-16	7	3	45,4	3/2	sáprico
Cr	16-28	-	-	-	-	-

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
O1	4,1	1,9	3,2	0,41	0,12	21,3	0,7	27,63
O2	4,7	2,2	4,1	0,59	0,21	23,4	0,9	31,42
Cr	5,9	3,2	5,3	0,78	0,25	4,6	0,3	14,43

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
O1	11	20	3	228,6
O2	11	23	1	214,9
Cr	3	66	<1	13,2

*Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974); von Post: teste de campo para avaliação do grau de decomposição do material orgânico e classificação como fibrício, hêmico ou sáprico; Fibras NE: não esfregadas; Fibras E: esfregadas; MO: matéria orgânica; IP: índice de pirofosfato (determinação da solubilidade em pirofosfato de sódio).

4.2 Organossolos Fólicos Sápricos cambissólicos

São solos caracterizados pela presença de um horizonte O hístico (Figura 4), que se forma em condições de boa drenagem e acúmulo de matéria orgânica, típicas de climas frios e úmidos. Podem ficar saturados por água por um período máximo de 30 dias consecutivos durante a estação chuvosa. Predominam em ambientes com clima úmido, frio e vegetação altomontana. As baixas temperaturas favorecem o acúmulo de material orgânico devido à diminuição da atividade biológica. Além disso, condições de distrofismo e alta acidez potencial podem dificultar a transformação da matéria orgânica, contribuindo para sua acumulação.

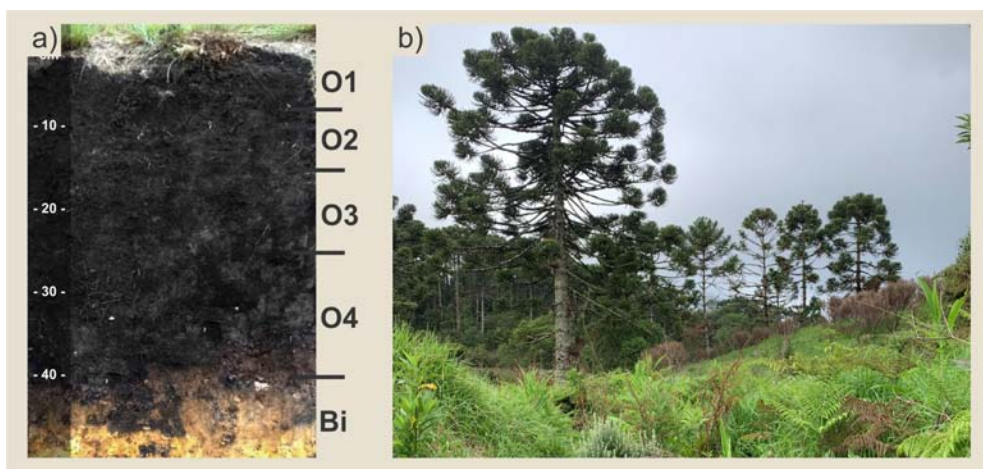


Figura 4. Perfil (a) e paisagem (b) de um Organossolo Fólico Sáprico cambissólico em área de Floresta Altomontana no estado de São Paulo. Fonte: Dos autores.

Formam-se unicamente em regiões montanhosas, contrastando com os solos orgânicos de áreas úmidas com distribuição mais ampla. Semelhante ao conceito de solos endêmicos, eles são restritos a áreas geográficas específicas devido à combinação única de fatores de formação do solo.

Nas regiões montanhosas do Sudeste do Brasil, como na Serra da Mantiqueira, totalmente inserida no bioma Mata Atlântica, esses solos se formam pela acumulação de serrapilheira (resíduos vegetais) em dois pedoambientes: diretamente sobre a rocha em Campos de Altitude, pelos processos de adição e transformação da serrapilheira, que constitui o material de origem desses solos; e em florestas de altitude, com horizontes orgânicos formados sob horizontes minerais (Silva Neto et al., 2024). Em ambos os casos, o clima frio e úmido, além da vegetação, são os principais fatores de formação, retardando a decomposição da matéria orgânica e

influenciando as propriedades físicas e químicas desses solos (Quadro 2).

Quadro 2. Dados físicos e químicos de um Organossolo Fólico Sáprico cambissólico. Dados extraídos de Silva Neto et al. (2024).

Horizontes	Profundidade (cm)	Caracterização dos horizontes orgânicos*				von Post
		Fibras NE %	Fibras E %	MO%	IP	
O1	0-7	24	19	52,1	3/2	sáprico
O2	7-17	20	15	48,4	3/3	sáprico
O3	17-25	17	9	42,6	3/3	sáprico
O4	25-42	14	8	34,1	3/3	sáprico
Bi	42-60+	-	-	-	-	-

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
O1	4,3	0,8	0,4	0,63	0,23	26,9	6,3	35,26
O2	4,4	0,7	0,3	0,52	0,25	25,3	4,5	31,57
O3	4,4	0,6	0,5	0,41	0,25	21,5	4,4	27,66
O4	4,1	0,7	0,4	0,37	0,22	20,3	5,6	27,59
Bi	4,7	1,0	0,6	0,36	0,21	8,1	3,2	13,47

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
O1	75	6	4	302,2
O2	72	6	3	348,6
O3	71	6	2	351,8
O4	77	6	2	282,3
Bi	60	16	1	32,1

*Testes para caracterização de Organossolos (Lynn et al., 1974); von Post: teste de campo para avaliação do grau de decomposição do material orgânico e classificação como fibrico, hêmico ou sáprico; Fibras NE: não esfregadas; Fibras E: esfregadas; MO: matéria orgânica; IP: índice de pirofosfato (determinação da solubilidade em pirofosfato de sódio).

4.3 Cambissolos Hísticos Distróficos típicos

São solos pouco desenvolvidos, caracterizados por um horizonte B incipiente e grande variabilidade de características, dependendo do ambiente de formação e das condições ambientais. A pedogênese nesses solos é pouco avançada, o que resulta em solos que podem variar amplamente em suas propriedades.

Essa variabilidade reflete a heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, permitindo que os Cambissolos possuam drenagem que varia de forte a imperfeita, com perfil variando desde rasos até profundos e cores que vão do marrom ou marrom-amarelado até o vermelho-escuro. Adicionalmente, a saturação por bases e a atividade química da fração argila também podem variar, podendo ser observados desde altos até baixos valores (Santos et al., 2018).

Quando esses solos possuem um horizonte O hístico, mas não atendem aos critérios de espessura para serem classificados como Organossolos, são identificados como Cambissolos Hísticos (Figura 5).

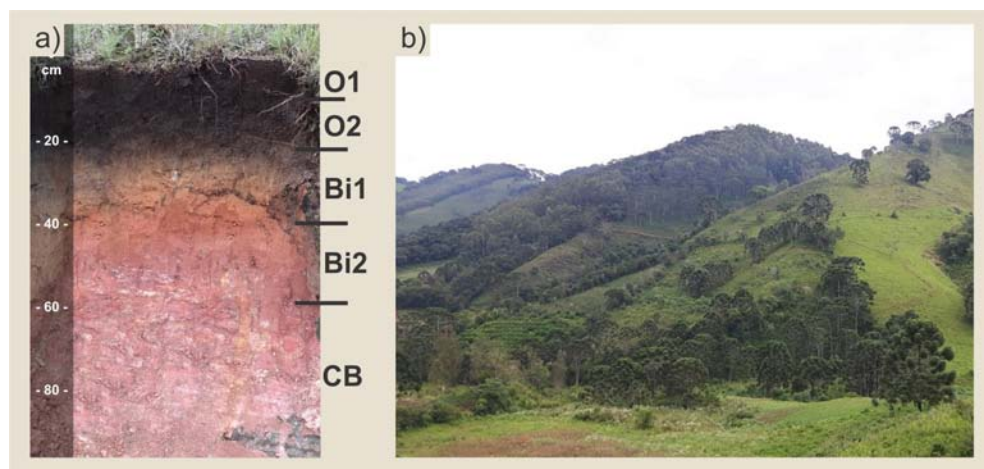


Figura 5. Perfil (a) e paisagem (b) de um Cambissolo Hístico Distrófico típico em área de Floresta Altomontana, bioma Mata Atlântica, no estado de São Paulo. Fonte: Dos autores.

Esses solos são encontrados em regiões montanhosas de Floresta Altomontana, em áreas de relevo que varia de ondulado a forte ondulado, geralmente formados a partir de sedimentos previamente intemperizados. Nessas áreas, o clima frio e úmido favorece a formação de horizontes orgânicos, porém o desenvolvimento do solo é limitado pela declividade acentuada. Há um pequeno grau

de desenvolvimento pedogenético e expressão de processos pedogenéticos específicos (xantização), o que leva ao surgimento de cores amareladas, alta acidez e baixa CTC (Quadro 3).

O relevo é o principal fator que restringe o desenvolvimento pedogenético mais avançado desses solos. Embora o clima úmido intensifique as reações de hidrólise e o processo de dessilicação (perda de silício resultante da alteração mineralógica promovida pelo intemperismo), o relevo acidentado impede o pleno desenvolvimento do solo, sendo muitas vezes observados solos com horizontes enterrados. Esse padrão é típico de regiões montanhosas, onde o material superficial permanece exposto à ação do intemperismo por longos períodos, sendo continuamente redistribuído e retrabalhado na paisagem (Silva et al., 2022).

Quadro 3. Dados físicos e químicos de um Cambissolo Hístico Distrófico típico. Dados extraídos de Silva et al. (2022).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Silte / Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
O1	0-8	667	74	59	200	0,3
O2	8-19	659	83	64	194	0,3
Bi1	19-42	331	180	198	291	0,7
Bi2	42-64	324	207	195	274	0,7
CB	64-90+	241	201	188	370	0,5

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
O1	4,9	4,8	3,8	0,23	0,11	16,9	1,3	27,14
O2	4,7	3,9	3,6	0,22	0,12	15,3	1,2	24,34
Bi1	4,2	2,5	1,8	0,18	0,05	11,5	0,8	16,83
Bi2	4,2	2,3	1,6	0,17	0,05	8,3	0,7	13,12
CB	4,3	1,9	1,2	0,16	0,05	8,1	0,5	11,91

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
O1	13	33	5	114,1
O2	13	32	3	92,2
Bi1	15	27	1	25,1
Bi2	15	31	1	15,4
CB	13	28	1	11,7

4.4 Latossolos Amarelos Distróficos espesso-húmicos

São solos altamente intemperizados, profundos e muito evoluídos pedogeneticamente, resultantes de intensas transformações do material de origem. Caracterizam-se pela baixa capacidade de troca de cátions na fração argila, com valores inferiores a $17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila. São solos desprovidos de minerais primários ou secundários pouco resistentes ao intemperismo. Típicos de zonas tropicais úmidas, os Latossolos cobrem aproximadamente 32% do território brasileiro. Em regiões de clima tropical, subtropical e em áreas montanhosas, esses solos podem apresentar um horizonte A húmico, caracterizado por um horizonte mineral espesso, de cor escura, com baixos teores de cátions trocáveis e elevado acúmulo de matéria orgânica. Esse acúmulo de matéria orgânica é fundamental para o aumento dos estoques de carbono no solo, tornando os Latossolos com A húmico importantes para a dinâmica do carbono no ambiente (Figura 6).

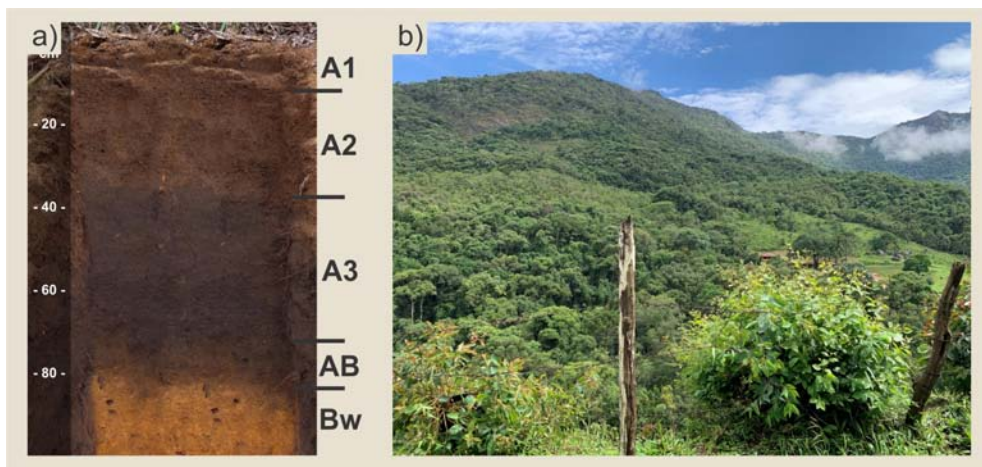


Figura 6. Perfil (a) e paisagem (b) de um Latossolo Amarelo Distrófico espesso-húmico em área de Floresta Altomontana no estado de São Paulo. Fonte: Dos autores.

Os Latossolos com horizonte A húmico em regiões montanhosas da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil são predominantemente encontrados nas áreas de menor altitude nas encostas, em relevo suave ondulado. A formação desses horizontes húmicos pode estar associada ao transporte e à deposição de materiais coluviais provenientes das partes superiores do relevo (Lepsch e Buol, 1986; Silva e Vidal-Torrado, 1999).

Além disso, o remonte biológico, promovido pela fauna do solo, e a decom-

posição e migração de substâncias húmicas ao longo do perfil são fatores que contribuem para o espessamento do horizonte húmico. Estudos indicam que a gênese do horizonte A húmico em Latossolos dessas regiões montanhosas é influenciada por diversos fatores, que podem ocorrer de forma simultânea: propriedades do solo e temperaturas mais baixas que inibem a decomposição da matéria orgânica; o acúmulo significativo de matéria orgânica associado a condições paleoambientais; a presença de complexos organominerais estáveis que dificultam a decomposição do carbono; e a origem poligênica dos solos, relacionada a superfícies geomórficas. Esses fatores favorecem o acúmulo de carbono em profundidade (Quadro 4), contribuindo para a complexidade e evolução dos Latossolos espesso-húmicos nessas áreas (Calegari, 2008; Silva Neto et al., 2020).

Quadro 4. Dados físicos e químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico espesso-húmico. Dados extraídos de Silva Neto et al. (2020).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Silte / Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-10	464	294	85	157	0,5
A2	10-38	442	285	75	198	0,4
A3	38-75	415	274	89	222	0,4
AB	75-85	372	227	103	298	0,3
Bw	85-100+	384	218	119	279	0,4

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	5,1	0,4	0,2	0,10	0,15	3,4	1,2	5,45
A2	5,1	0,3	0,1	0,11	0,12	4,6	1,4	6,63
A3	5,2	0,4	0,2	0,11	0,11	6,4	1,6	8,82
AB	5,0	0,3	0,2	0,12	0,10	5,3	1,8	7,82
Bw	4,9	0,2	0,1	0,08	0,05	3,7	1,3	5,43

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	59	16	3	51,2
A2	69	10	2	55,8
A3	66	9	1	41,4
AB	71	9	1	35,4
Bw	75	8	1	14,9

5 Feições morfológicas típicas

Os solos de montanha são caracterizados por horizontes com alto teor de matéria orgânica, muitas vezes classificados como horizontes de constituição orgânica ($\text{Corg} > 80 \text{ g kg}^{-1}$), nos quais o conteúdo de constituintes orgânicos impõe a preponderância de suas propriedades sobre as dos constituintes minerais. Nesse caso, o grau de decomposição da matéria orgânica é um atributo morfológico utilizado na caracterização e diferenciação desses solos.

Além disso, é comum a ocorrência de perfis com expressiva variação de cor ao longo do perfil, muitas vezes associada com linhas de pedra (stone-lines), e horizontes enterrados, que indicam eventos passados de deposição e mudanças na paisagem, como deslizamentos e soterramentos, típicos de ambientes montanhosos dinâmicos.

Define-se como material orgânico do solo todo material constituído de resíduos de origem vegetal ou animais mortos e em diferentes estados de decomposição, assim como fragmentos de carvão, excluindo a fauna e flora vivas presentes no solo (Santos et al., 2018). O acúmulo da matéria orgânica em solos de montanha muitas vezes está relacionado ao clima, pois as baixas temperaturas desaceleram a decomposição do material orgânico, possibilitando seu acúmulo em diferentes estágios de decomposição.

A caracterização diferenciada de solos com altos teores de matéria orgânica destaca atributos que distinguem esses solos dos chamados solos minerais. Entre os procedimentos utilizados para a caracterização de solos de constituição orgânica destaca-se a adaptação de métodos inicialmente desenvolvidos por Lynn et al. (1974), descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018).

A escala de von Post (Stanek e Silc, 1977) é amplamente empregada para identificar o estágio de decomposição dos resíduos vegetais presentes no solo (Quadro 5). Essa escala é composta por 10 estágios de decomposição da matéria orgânica, que são agrupados nas classes fíbrica, hêmica e sáprica no SiBCS. A classificação baseia-se em informações qualitativas sobre o comportamento do material orgânico durante o manuseio, como a cor do líquido extraído, a quantidade de material que passa entre os dedos ao apertar a mão, e a natureza e concentração de fibras vegetais (Fontana et al., 2017).

Quadro 5. Escala de decomposição de von Post, utilizada para determinação das classes de decomposição do material orgânico. Dados extraídos de Fontana et al. (2017).

Escala de decomposição de von Post (Stanek e Silc, 1977)		
Grau	Descrição	Classe de decomposição
1	Não decomposta - Estrutura vegetal original quase inalterada; no manuseio, espremer o material libera apenas água clara.	Fíbrico
2	Ligeiramente decomposta - Estrutura facilmente visível; no manuseio, espremer o material libera água clara amarelada.	
3	Muito fracamente decomposta - Estrutura ainda identificável; água turva sai ao espremer, sem material lamacento.	
4	Fracamente decomposta - Estrutura pouco visível; água turva, sem material orgânico passando entre os dedos.	
5	Moderadamente decomposta - Estrutura mal visível; água brunada, algum material orgânico passa entre os dedos.	Hêmico
6	Bem decomposta - Estrutura não visível; 1/3 do material passa entre os dedos, resíduo lamacento.	
7	Fortemente decomposta - Estrutura quase indistinta; metade do material passa entre os dedos.	Sáprico
8	Muito fortemente decomposta - Estrutura vegetal original indistinta; 2/3 do material passa entre os dedos.	
9	Quase completamente decomposta - Estrutura irreconhecível; quase todo o material passa, massa lamacenta.	
10	Completamente decomposta - Estrutura irreconhecível; todo o material orgânico passa entre os dedos.	

A ocorrência de solos amarelo-avermelhados, com ou sem linhas de pedra, é bastante comum nas regiões de montanha. Essas características fornecem informações sobre a evolução da paisagem e o desenvolvimento do solo nos trópicos úmidos, além de suscitar uma discussão controversa acerca da interpretação morfogenética e pedogenética. Um debate importante gira em torno da natureza das camadas de pedra e do material sobreposto, questionando se são o resultado de processos geomorfológicos e pedológicos alóctones ou da pedogênese autóctone (*in situ*), bem como das condições de deposição e da reconstrução de mudanças paleoambientais.

Os solos bruno-amarelados em ambientes tropicais e subtropicais têm sua evolução explicada por várias teorias, destacando-se as relacionadas a processos químicos, biogeoquímicos e deposicionais. Uma linha de estudos defende um desenvolvimento autóctone, no qual a goethita, um óxido de ferro marrom-ama-

relado, forma complexos estáveis que são menos suscetíveis à lixiviação do que a hematita avermelhada, promovendo o amarelamento das camadas ou horizontes superficiais (Truckenbrodt et al., 1991; Thomas et al., 1999). Além disso, o processo de xantização, discutido por Schwertmann (1971), sugere que a matéria orgânica lábil intensifica a oxidação microbiana, levando à dissolução seletiva da hematita e ao acúmulo de goethita (Figura 7). Assim, esses processos bioquímicos favorecem o desenvolvimento de solos amarelados nessas regiões.

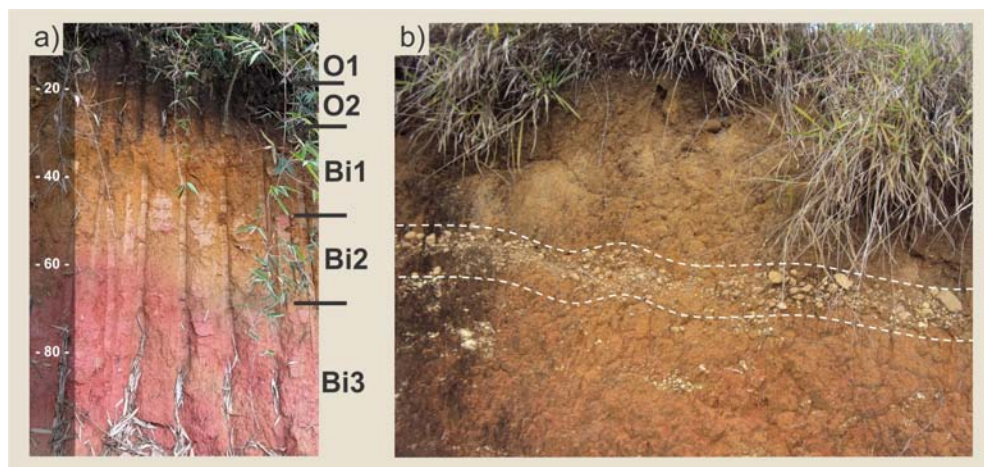


Figura 7. Perfil de solo (a) e corte de estrada com expressiva variação de cor e linhas de pedra (stone-lines) (b) típicos de regiões montanhosas na Mata Atlântica. Fonte: Dos autores.

Outros autores, como Ab'Saber (1982) e Bigarella (1975), associam esses solos a sedimentos coluviais e aluviais, datados do Pleistoceno tardio e formados em períodos de maior aridez e declínio da vegetação. Além disso, em áreas montanhosas do Brasil, estudos identificaram o desenvolvimento desses solos em fases de estabilidade morfodinâmica sob floresta fechada. A bioturbação por cupins, formigas e outros organismos também é vista como um processo fundamental na formação dos solos bruno-amarelados, resultando na biomistura e na formação do biomanto ativo, conforme proposto por Johnson et al. (2005). Essas teorias refletem a diversidade de processos responsáveis pela formação de solos bruno-amarelados em ambientes tropicais.

A ocorrência de solos com horizontes enterrados em regiões montanhosas também é bastante comum (Figura 8), refletindo as complexas interações entre o relevo e os processos de formação do solo. Encostas com maior declividade propiciam a mobilização de sedimentos, frequentemente resultando em colu-

vionamento, em que material das partes superiores da encosta é transportado e depositado em áreas mais baixas. Além de sua relevância para o entendimento dos processos pedogeomorfológicos, esses horizontes enterrados podem conter informações valiosas sobre ambientes passados, contribuindo para uma melhor compreensão dos processos pedogenéticos e das mudanças paleoambientais (Silva Neto et al., 2024).

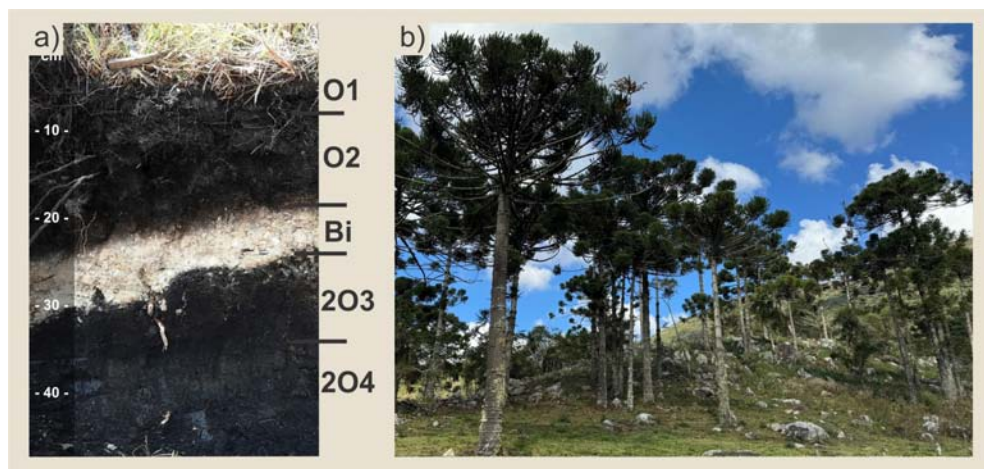


Figura 8. Perfil de Organossolo Fólico Sáprico cambissólico com horizontes enterrados (a) e paisagem associada de regiões montanhosas na Mata Atlântica (b). Fonte: Dos autores.

6 Limitações de uso agrícola

As limitações para o uso agrícola em regiões montanhosas estão principalmente relacionadas ao relevo e à declividade acentuada, que tornam os solos altamente suscetíveis à erosão. Isso indica a necessidade de sistemas de manejo que previnam e controlem a erosão, mantendo a cobertura do solo por meio de práticas como sistemas integrados e consorciados – por exemplo, os agroflorestais. Além disso, as condições de relevo, juntamente com os afloramentos rochosos, podem aumentar os impedimentos à mecanização. Esses fatores não apenas restringem a realização de atividades agrícolas, mas também ressaltam a fragilidade dessas áreas.

Unidades de conservação são comuns nessas regiões, uma vez que elas abrigam ambientes frágeis e ricos em biodiversidade, com espécies vegetais e animais endêmicas (FAO, 2015). Ademais, essas áreas desempenham um papel importante no combate às mudanças climáticas, estocando significativas quantidades de

carbono acima e abaixo do solo. Além disso, os ecossistemas de montanha são fundamentais para as bacias hidrográficas e para a boa qualidade da água mundial, uma vez que parte das nascentes está localizada nas regiões altas do planeta (López et al., 2011).

7 Potencial de uso das terras

Os ambientes de montanha no Sudeste brasileiro apresentam um amplo potencial agrícola, especialmente devido ao clima mais ameno proporcionado pela altitude (Figura 9). Essa característica climática contrasta com a das zonas mais baixas da região, permitindo a implementação de culturas que são menos resistentes a altas temperaturas.

O cultivo de café, citros, maçã, uva, olericultura e floricultura, além da agropecuária leiteira, são exemplos de atividades agropecuárias praticadas nessas áreas, principalmente em propriedades de agricultura familiar (López et al., 2011). Essa diversidade de culturas não apenas contribui para a economia local, mas também oferece uma gama de produtos de relevância local e regional, contribuindo para a segurança alimentar.

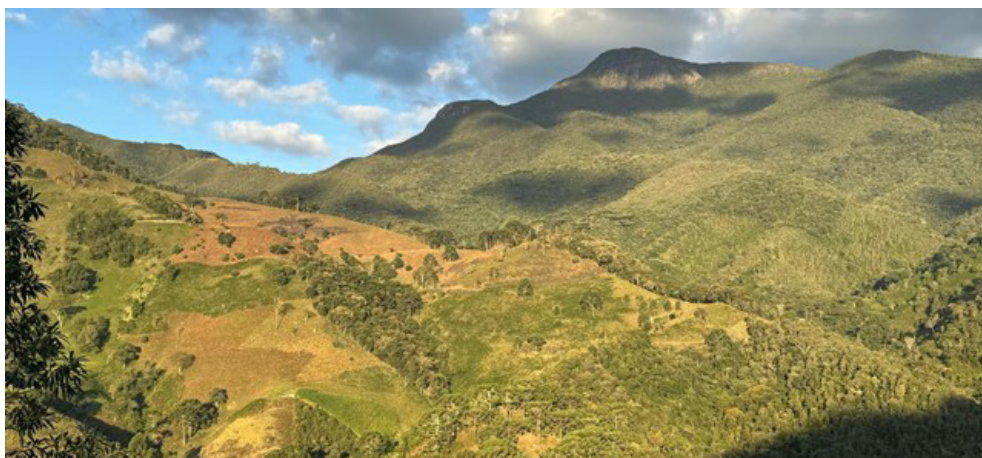


Figura 9. Paisagem de agricultura em regiões montanhosas na Mata Atlântica. Fonte: Dos autores.

Do ponto de vista global, a agricultura de montanha é essencialmente uma forma de agricultura familiar, caracterizada por áreas de cultivo dispersas em diferentes altitudes e climas, além de paisagens frequentemente fragmentadas e com limitações para a mecanização (FAO, 2013). Dessa forma, os solos de montanha desempenham um papel central no design ecossistêmico das paisagens

montanhosas, fornecendo serviços ambientais que beneficiam tanto as áreas montanhosas quanto as regiões mais amplas – por exemplo, a provisão de água, redução de riscos de desastres, preservação da biodiversidade, incluindo a agrobiodiversidade, e espaço para recreação e turismo.

8 Considerações finais

As regiões montanhosas da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil apresentam uma ampla diversidade de classes de solos, influenciada principalmente por relevo, clima e vegetação. Neossolos Litólicos, Cambissolos Hísticos, Organossolos Fólicos e Latossolos com horizonte A húmico são exemplos típicos dessas áreas. De modo geral, esses solos apresentam altos teores de matéria orgânica devido às temperaturas mais baixas nesses ambientes, o que desacelera a sua decomposição.

Além de funcionarem como importantes reservatórios de carbono, também desempenham um papel central na manutenção da biodiversidade e na dinâmica dos ecossistemas montanhosos. No entanto, a fragilidade dos solos, combinada com a declividade acentuada e a alta suscetibilidade à erosão, demandam práticas de manejo conservacionistas complexas para prevenir a sua degradação.

Além de sua importância ecológica, os solos de montanha também oferecem um potencial significativo para atividades agrícolas de baixo impacto, como a praticada pela agricultura familiar, beneficiada pelas condições climáticas amenas dessas regiões. É fundamental, entretanto, que essas atividades sejam conduzidas com responsabilidade ambiental, adotando técnicas que minimizem a degradação do solo e preservem a integridade dos ecossistemas.

9 Referências

Ab'Saber AN. The Paleoclimate and Paleoecology of Brazilian Amazonia. In: Prance GT, editor. *Biological Diversification in the Tropics*. 1 ed. New York: Columbia University Press; 1982. p. 1–59.

Bigarella JJ. Pediments, a convergence of processes. *Bol. Paranaen. Geogr.* 1975;33:206–216.

Calegari MR. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos. [Tese]. Universidade de São Paulo; 2008.

Fontana A, Soares PF, Anjos LHC, Valladares GS. Solos com altos teores de matéria orgânica. In: Teixeira PC, et al., editors. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017. 574 p.

Fontana A, Schaefer CE, dos Anjos LHC, Ker JC, Pereira MG, Senra EO, Coelho RM. Soils from the Atlantic Forest. In: The Soils of Brazil. Cham: Springer International Publishing; 2023. p. 195–220.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Wyman von Dach S, Romeo R, Vita A, Wurzing M, Kohler T (eds). 2013. Mountain Farming Is Family Farming: A contribution from mountain areas to the International Year of Family Farming 2014. Rome, Italy: FAO, CDE, BOKU, p. 100.

Food and Agriculture Organization (FAO). Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015. Roma: FAO; 2015.

Johnson DL, Domier JEJ, Johnson DN. Reflections on the nature of soil and its biomantle. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 2005;95(1):11–31.

Lepsch IF, Buol SW. Oxisol-landscape relationship in Brazil. In: International Soil Classification Workshop, 13, Campinas. Part 1: papers. Campinas: SNLCS/EMBRA-PA, USA, University of Puerto Rico; 1986. p. 174–189.

López A, Aquino AM, Assis R. Agricultura de montanha: uma prioridade latente na agenda da pesquisa brasileira. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2011.

Lynn WC, McKinzie WE, Grossman RB. Field laboratory tests for characterization of Histosols. In: Stelly M, editor. Histosols: their characteristics, classification, and use. Madison: Soil Science Society of America; 1974. p. 11–20. (SSSA Special publication series, 6).

Marques MC, Grelle CE. The Atlantic Forest. History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest. Springer International Publishing; 2021.

Marques Neto R, Filho AP, de Oliveira TA. Itatiaia Massif: morphogenesis of southeastern Brazilian highlands. In: Landscapes and Landforms of Brazil. 2015. p. 299–308.

Pereira MG, da Silva RC, Pinheiro Junior CR, da Silva Neto EC, Fontana A, Schiavo JA, et al. A multi-proxy study of Umbric Ferralsols genesis in a high-mountain environment in Rio de Janeiro state. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2023;48(4):721–734.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbrreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa; 2018. 356 p.

Schwertmann U. Transformation of hematite to goethite in soils. *Nature*. 1971;232(5313):624–625.

Silva AC, Vidal Torrado PG. Gênese dos Latossolos Húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1999; 23:329–341.

Silva Neto EC, Santos JJS, Pereira MG, Maranhão DDC, Barros FC, Anjos LHC. Paleo-environmental characterization of a high-mountain environment in the Atlantic Forest in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2018;42.

Silva Neto EC, Pereira MG, de Araujo Carvalho M, Calegari MR, Pessenda LCR. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. 2019;95:102301.

Silva Neto EC, Pereira MG, dos Anjos LHC, Calegari MR, Azevedo AC, Schiavo JA, Pessenda LCR. Phytoliths as paleopedological records of an histosol-cambisol-ferralsol sequence in Southeastern Brazil. *Catena*. 2020;193:104642.

Silva RCD, Azevedo AC, Pinheiro CR, Silva ECD, Ziviani MM, Pereira MG. Pedogenesis of high-mountain soils from Serra da Mantiqueira, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*. 2022;53.

Silva Neto EC, dos Anjos LHC, Calegari MR, Horák-Terra I, de Oliveira FS, Valladares GS, et al. Organic soils in Southeastern Brazilian highlands: formation and relations to vegetation history. *Catena*. 2024;237:107786.

Stanek W, Silc T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. *Canadian Journal of Soil Science*. 1977, p. 109–117.

Thomas M, Thorp M, McAlister J. Equatorial weathering, landform development and the formation of white sands in north western Kalimantan, Indonesia. *Catena*. 1999;36(3):205–232.

Truckenbrodt W, Kotschoubey B, Schellmann W. Composition and origin of the clay cover on North Brazilian laterites. *Geologische Rundschau*. 1991;80:591–610.

Vieira BC, Gramani MF. Serra do Mar: the most “tormented” relief in Brazil. In: *Landscapes and Landforms of Brazil*. 2015. p. 285–297.



Solos do Cariri Paraibano

Milton César Costa Campos¹; Rodrigo Santana Macedo²; José João Lelis Leal de Souza³; Flávio Pereira de Oliveira¹.

¹Universidade Federal da Paraíba

²Universidade Federal de Campina Grande

³Universidade Federal de Viçosa

1 Introdução

O solo pode ser compreendido como um constituinte superficial da paisagem, sendo formado a partir da interação de organismos, clima e material de origem e controlado pelo relevo em uma escala de tempo. Assim, independentemente das diferentes condições de formação dos ecossistemas, os processos de pedogênese e suas conexões com a geologia, geomorfologia e hidrologia definem as características de um dado solo.

Em que pese a importância de todos os fatores de formação do solo, as condições climáticas constituem as condições mais definidoras dos atributos edáficos, bem como das feições pedológicas encontradas nas diferentes regiões do globo (Campos et al., 2012).

Nesse contexto, a região semiárida brasileira apresenta uma diversidade de fitofisionomias e uma complexa cobertura pedológica. Inserido no Semiárido, o Cariri Paraibano está localizado no complexo geológico do Planalto da Borborema, que é composto por uma litologia antiga formada nos períodos Arqueano (3,85 a 2,5 bilhões de anos) e Paleoproterozoico (2,5 bilhões de anos a 1,6 bilhão de anos), em que é encontrado um complexo geológico constituído por diferentes tipos de rochas e graus de metamorfismo. Essas rochas possuem ampla variação mineralógica e diferentes graus de resistência ao intemperismo, o que contribui para um modelado com diferentes feições e ampla diversidade da cobertura pedológica na região. No bioma Caatinga, é comum o relevo diversificado que forma um complexo mosaico de solos, criando diferentes *habitats*, que resultam em ecossistemas complexos, ricos em biodiversidade e com alta taxa de endemismo (Betard et al., 2011; Falco et al., 2021).

Essa região encontra-se em considerável estágio de degradação e/ou desertificação, principalmente, devido ao inadequado uso da terra. Além da conversão da Caatinga para sistemas de subsistência de baixa produtividade e com baixo nível tecnológico, a perda da qualidade do solo agrava o déficit hídrico da região e torna as terras improdutivas, o que é um entrave para o desenvolvimento social e econômico local. Dessa forma, a implantação de políticas públicas eficientes de recuperação ambiental ou de conservação do bioma Caatinga perpassa pelo conhecimento pedológico desse ambiente.

O objetivo deste capítulo é abordar, de forma detalhada, a diversidade pedológica em um compartimento do Semiárido, a microrregião do Cariri Paraibano, inserido no complexo geológico do Planalto da Borborema. Para isso evidenciam-se aqui as diferentes classes de solos existentes numa escala de microrrelevo (pe-

quenas distâncias) da região, a relação solo-paisagem, as principais características físicas e químicas dos solos, além de suas feições morfológicas típicas, suas limitações de uso agrícola e seu potencial de uso das terras.

2 Caracterização ambiental

A área do Cariri Paraibano está subdividida nos compartimentos ocidental e oriental, localizados na microrregião do Cariri do estado da Paraíba (Figura 1). O clima da região se enquadra na tipologia climática Bsh, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013). Esse clima é caracterizado por ambiente com altas temperaturas, com chuvas no verão e estiagem no inverno. A precipitação média anual é de 400 mm, e a temperatura média mensal é de 22,6 °C, com temperaturas mínima e máxima anuais de 20,3 °C e 24,1 °C, respectivamente.

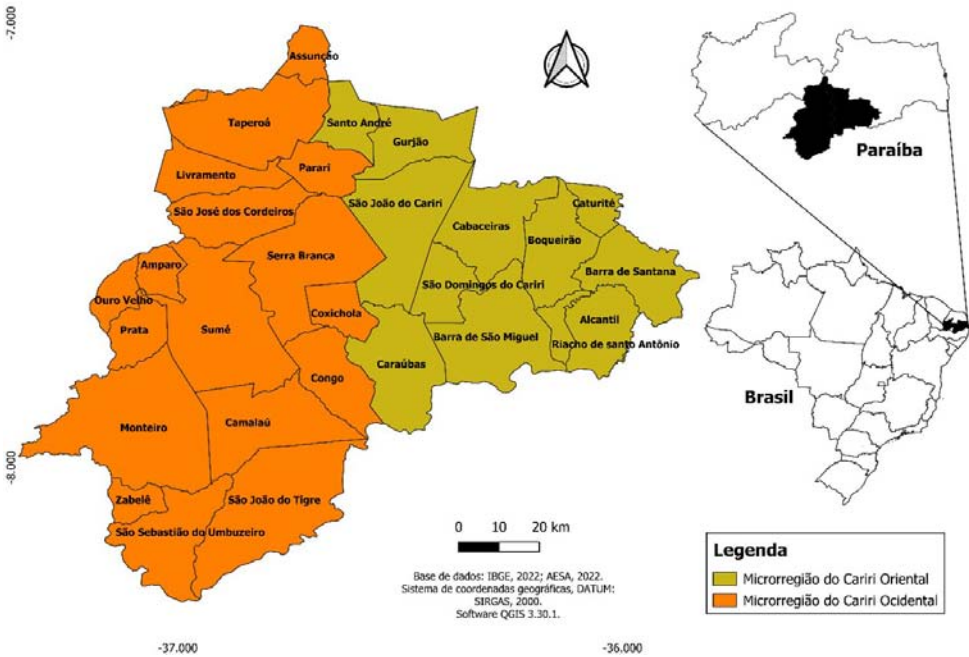


Figura 1. Microrregião do Cariri Paraibano (ocidental e oriental). Fonte: Dos autores.

Nessa microrregião predomina um ambiente semiárido com temperaturas elevadas ao longo do ano, em que a média mínima mensal sempre encontra-se acima de 18 °C. A estação chuvosa ocorre em um curto período no verão (de qua-

tro a cinco meses), ao passo que no restante do ano predomina o período de estiagem. Também é característica do clima dessa região irregularidades pluviométricas no espaço e no tempo, assim como veranicos no período úmido (Nunes et al., 2020; Francisco et al., 2021).

A vegetação predominante na região é classificada como Caatinga Xerófila e Hiperxerófila, tendo como características marcantes uma composição florística composta predominantemente de árvores de pequeno a médio porte, com troncos retorcidos, além de uma variada presença de vegetação herbácea e arbustos espinhosos (Silva et al., 2017).

No que tange à geologia, o Cariri Paraibano está localizada sobre o Planalto da Borborema, que é constituído por diferentes litologias cristalinas muito antigas e desgastadas (Corrêa et al., 2010; Torres e Silva, 2016). Uma parte da região do Cariri está inserida nos domínios do complexo geológico Caroalina-Surubim, datado do Proterozoico (entre 2,5 bilhões de anos e 542 milhões de anos), com litologia predominante de rochas metacalcárias, podendo ocorrer camadas finas de sedimentos siltico-argilosos consolidados.

A outra parte está inserida no Complexo Sertânea, do Paleoproterozoico (entre 2,5 bilhões de anos e 1,6 bilhão de anos), sob litologia formada predominantemente por metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos, podendo ocorrer metassedimentos arenosos, metacalcários e calssilicáticas intercalados com esse material (Torres e Silva, 2016).

A região do Cariri tem sua parte mais ocidental inserida nos domínios do complexo granitoide intensamente deformado, datado do Proterozoico (entre 2,5 bilhões de anos e 542 milhões de anos), com litologia predominante de ortognaisse. A outra parte da região está inserida nos domínios dos complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos, e a litologia predominante é representada por migmatitos ortoderivados (Torres e Silva, 2016).

Do ponto de vista geomorfológico, os processos erosivos que atuaram nessa região determinaram suas formas de relevo, e elaboraram extensas superfícies aplainadas presentes na área central do Planalto da Borborema, decorrentes de fases climáticas, ora mais secas, ora menos secas, resultando na criação de amplos pediplanos (Souza et al., 2009). Atualmente, essas superfícies estão submetidas a um princípio de dissecação predominantemente em interflúvios tabulares, com ocorrência ocasional de alinhamentos de cristas, inselbergs e amontoados de blocos (Brasil, 1981).

Na região predominam os solos das classes Luvisolo Crômico (42,7%), Neossolo Litólico (34,6%), Vertissolo Hidromórfico (8,9%) e Neossolo Regolítico (4,1%),

ocorrendo, em menor expressão, Neossolo Flúvico (3,4%), Planossolo Nátrico (2,4%), Luvisso Háplico (1,2%), Planossolo Háplico (0,7%), Cambissolo Húmico (0,6%) e Chernossolo Rêndzico (0,2%) (Souza et al., 2009).

3 Relação solo-paisagem

A composição dos elementos de subsuperfície (rochas), associada às feições do relevo, levam a uma grande diversidade de paisagens, bem como, a uma grande pedodiversidade que, por vezes, foge dos modelos clássicos de relação solo-paisagem. Na Figura 2, observa-se uma catena típica da região do Cariri Paraibano com as suas respectivas classes de solos.

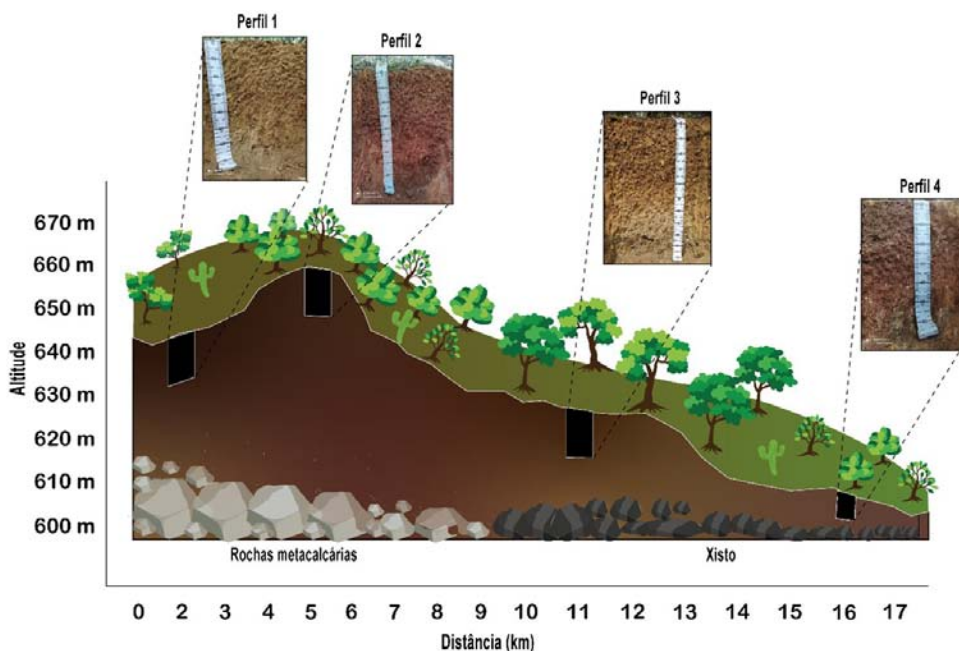


Figura 2. Perfil topográfico do terreno e localização dos perfis na sequência sobre rochas metacalcárias (Perfil 1 e Perfil 2) e xistos (Perfil 3 e Perfil 4) na região de Monteiro, PB. (Perfil 1) Neossolo Litólico Eutrófico típico; (Perfil 2) Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico; (Perfil 3) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico fragmentário; (Perfil 4) Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário. Fonte: Cavalcante (2023).

Assim, dependendo da sequência estabelecida, é possível encontrar Cambissolo Háplico Ta Eutrófico argissólico em condições de meia encosta (terço superior - 646 m), bem como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico fragmentário no segmento interflúvio (divisor de águas - 660 m) e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico fragmentário em condições de sopé com aproximadamente 610 m. No terço inferior da encosta, com leve inclinação em direção ao canal de drenagem principal, encontra-se o Argissolo Amarelo Distrófico típico, formado a partir da dissecação do topo em períodos de erosão.

Em outras catenas no Cariri Paraibano, é possível identificar o Neossolo Litólico Eutrófico típico no segmento de meia encosta da paisagem (terço inferior - 636 m). No topo, com altitude máxima de 648 m, ocorre o Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico e, no segmento sopé de deposição/transporte (613 m), caracterizado pela forte influência de sedimentos clásticos e íons transportados via solução dos segmentos superiores da vertente (processo erosional-deposicional), são encontrados os Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos fragmentários e Neossolos Litólicos Eutróficos fragmentários. Em adição, também ocorrem catenas com o Vertissolo Ebânico Órtico típico no segmento de topo, o Argissolo Amarelo Distrófico abruptico na meia encosta, o Luvisso Háplico Órtico típico no sopé de transporte e o Vertissolo Háplico Órtico típico no sopé de deposição.

4 Dados pedológicos

4.1 Neossolos Litólicos Eutróficos fragmentários

Ocorrem predominantemente nos segmentos de topo e terço superior de vertentes convexas, em paisagens moderadamente rochosas (afloramentos entre 10-25%) com altitudes entre 450 e 800 m e relevo suave ondulado a ondulado (declividade entre 3-20%) (Quadro 1). São solos formados de rochas gnáissicas ou graníticas de composição variável, bem drenados e moderadamente pedregosos (calhaus entre 1-3%).

Apresentam sequência de horizonte A-AC-Cr, com coloração variando de bruno-escuro, no horizonte A, a bruno no horizonte Cr. Os horizontes A e AC são arenosos e apresentam estrutura fraca, pequena, granular, sendo soltos/ligeiramente duros quando secos, friáveis quando úmidos e não plásticos e não pegajosos quando molhados (Figura 3). O horizonte Cr apresenta textura francoarenosa e estrutura forte, pequena e prismática.

Dado o pequeno incremento em argila, o horizonte Cr apresenta-se ligeiramente duro, friável/firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. A tran-

sição entre esses horizontes é geralmente plana e clara/gradual. São solos moderadamente ácidos (pH 5,4-6,5), eutróficos (V >50%) e que apresentam argilas de elevada atividade ($Ta \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila).

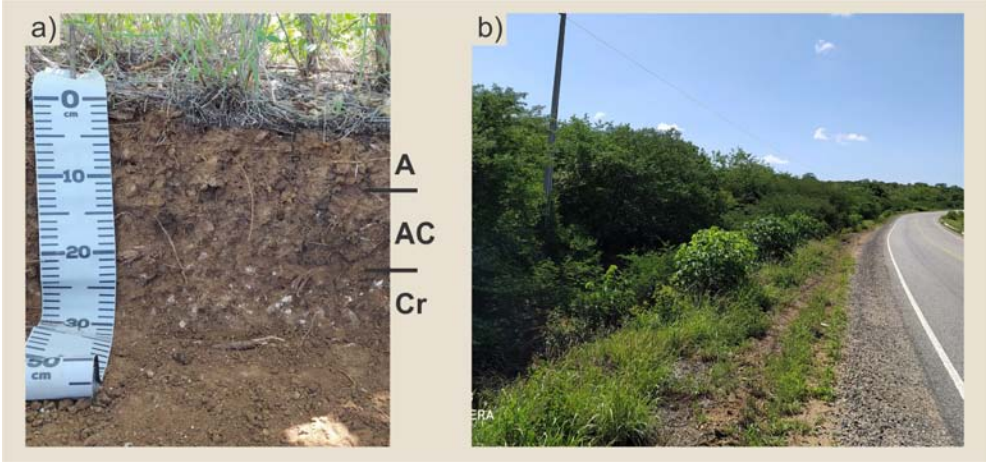


Figura 3. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência de Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (Monteiro, PB). Fonte: Cavalcante (2023).

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário da microrregião do Cariri - PB. Dados extraídos de Cavalcante (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-13	546	142	142	140	1,01
AC	13-30	679	201	201	120	1,68
Cr	30-42	467	233	233	300	0,78

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,6	5,59	0,44	0,05	0,00	10,1	0,4	16,4
AC	5,5	3,22	0,44	0,03	0,00	8,4	0,5	12,5
Cr	6,1	8,00	1,69	0,00	0,00	9,1	0,5	19,2

Quadro 1. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	6	37	58	14,4
AC	12	29	19	3,8
Cr	5	50	4	3,4

4.2 Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos argissólicos

Ocorrem predominantemente no terço médio e superior das encostas, em paisagens ligeiramente rochosas (afloramentos entre 2-10%) com altitudes entre 400 e 700 m e relevo ondulado (declividade entre 8-20%) (Figura 4). Esses solos são originados do intemperismo de rochas graníticas e gnáissicas com forte influência de material alóctone em superfície, bem drenados e pedregosos (calhaus entre 3-15%).

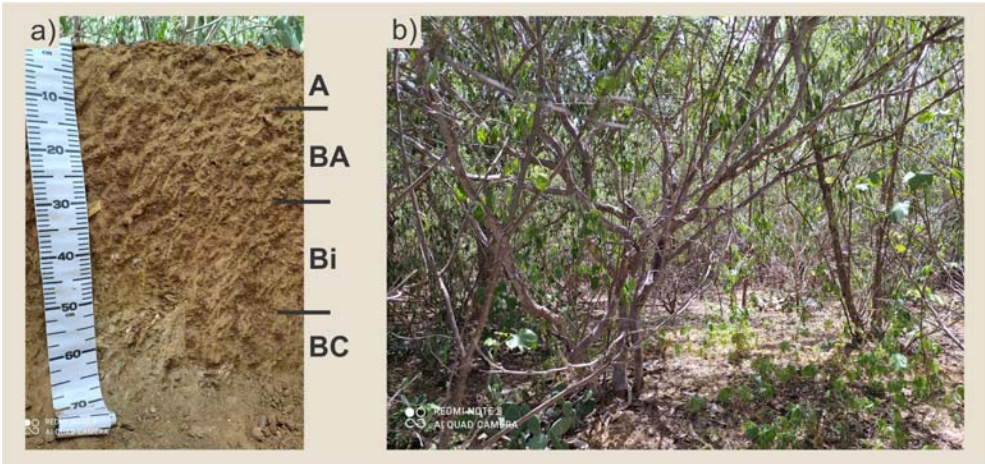


Figura 4. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Cambissolo Háplico Ta Eutrófico argissólico (Monteiro, PB). Fonte: Cavalcante (2023).

São solos pouco profundos ($>50 \leq 100$ cm) que apresentam sequência de horizontes A-BA-Bi-BC (Quadro 2), com coloração bruno-acinzentado muito escuro no horizonte A, bruno-amarelado escuro no horizonte BA e bruno-forte no horizonte diagnóstico Bi.

Os horizontes A e BA são francoargilosos ou franco-argiloarenosos, e o incre-

mento de argila no horizonte Bi (textura argilosa) confere a esses solos o caráter argilúvico. A estrutura dos horizontes é forte, pequena/média, blocos angulares e subangulares, com aumento da plasticidade e pegajosidade em profundidade dado o pequeno incremento em argila no horizonte Bi.

Esses solos são forte a moderadamente ácidos (pH 4,3-6,5), eutróficos e apresentam incremento de argila de elevada atividade (Ta) em maiores profundidades.

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Cambissolo Háplico Ta Eutrófico argissólico da microrregião do Cariri - PB. Dados extraídos de Cavalcante (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-13	399	191	171	240	0,7
BA	13-32	341	125	193	340	0,6
Bi	32-53	226	102	272	400	0,7
BC	53-70	364	172	324	140	2,3

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	6,5	2,51	0,55	0,06	0,00	8,8	0,3	12,2
BA	6,0	7,73	1,34	0,01	0,01	9,0	0,4	18,5
Bi	5,6	10,12	2,29	0,00	0,00	8,9	0,7	22,0
BC	5,3	9,34	2,37	0,00	0,00	8,1	0,6	20,4

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	9	25	9,2	15,8
BA	4	50	0,7	18,2
Bi	5	56	0,0	10,0
BC	5	57	0,0	5,7

4.3 Argissolos Amarelos Distróficos abrupticos

Ocorrem predominantemente em terço superior e médio, em paisagens ligeiramente rochosas (afloramentos entre 25-50%) com altitudes entre 400 e 600 m e relevo plano a suave ondulado. São originados do intemperismo de rochas graní-

ticas, com horizonte A fortemente influenciado por material alóctone, moderadamente drenados e ligeiramente pedregosos (calhaus <1%).

São solos pouco profundos a profundos (>50 e ≤200 cm), raramente excedendo 120 cm (Quadro 3). Apresentam sequência de horizontes A-E-Bt-C, com coloração bruno-acinzentada no horizonte A, e bruno-amarelada escura nos horizontes diagnósticos Bt (Figura 5).

O horizonte A é franco-argiloarenoso e possui estrutura moderada, pequena/média, blocos angulares e subangulares. Já os horizontes Bt variam de francoarenosos a argilosos e apresentam estrutura moderada, média/grande, laminar.

Uma característica marcante desses solos é a ocorrência de horizonte eluvial (E), caracterizado pela cor cinzento-clara, textura arenosa e estrutura do tipo grãos simples. A ocorrência desse horizonte permite a inferência de que a gênese desses solos envolve a translocação de argila para os horizontes subsuperficiais Bt (argiluviação).

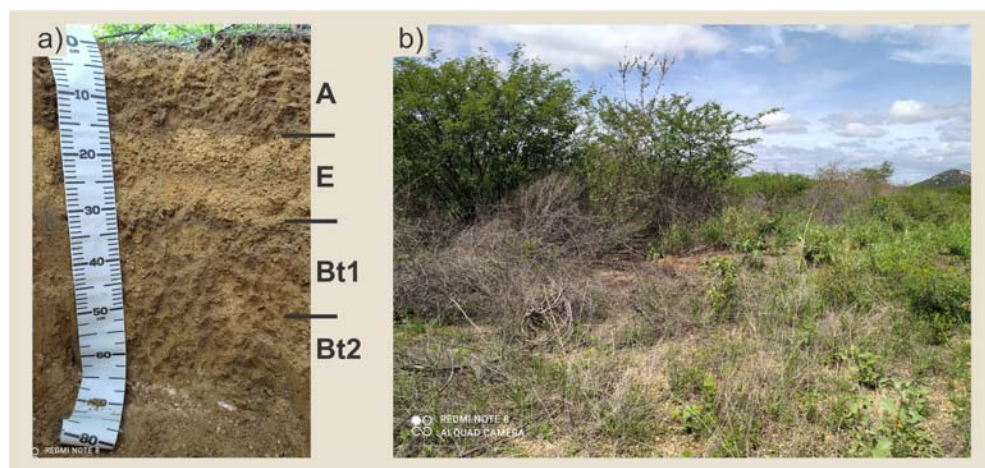


Figura 5. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Argissolo Amarelo Distrófico abrupto (Sumé, PB). Fonte: Cavalcante (2023).

São solos com reação praticamente neutra (pH 6,6-7,3), distróficos ($V < 50\%$), com baixos teores de matéria orgânica e P, e que apresentam predominantemente argilas de baixa atividade em maiores profundidades ($Tb < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila).

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Argissolo Amarelo Distrófico abrupto da microrregião do Cariri - PB. Dados extraídos de Cavalcante (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-15	372	299	169	160	1,1
E	15-30	498	283	119	100	1,2
Bt1	30-48	438	156	106	300	0,4
Bt2	48-70	456	162	102	280	0,4

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	6,6	6,74	0,41	0,02	0,01	8,9	0,3	16,4
E	6,7	3,80	0,16	0,00	0,01	8,4	0,3	12,7
Bt1	6,6	5,69	0,86	0,00	0,14	7,9	0,8	15,4
Bt2	6,4	5,88	0,99	0,03	0,23	7,2	0,6	14,9

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	4	44	77,5	9,56
E	7	31	27,5	5,24
Bt1	11	43	24,2	1,44
Bt2	8	48	427,3	3,84

4.4 Luvisolos Háplicos Órticos típicos

Ocorrem predominantemente em terço médio e inferior de vertentes curtas, em paisagens ligeiramente rochosas com altitudes entre 300 e 500 m e relevo suave ondulado a ondulado. Ocorrem majoritariamente em paisagens com expressiva ocorrência de calhaus e matações de quartzo oriundo de perdas de materiais de menor diâmetro por escoamento superficial. São solos formados a partir de materiais com consideráveis quantidades de minerais máficos (ricos em Fe e Mg), tais como anfíbolitos e bandeamentos melanocráticos de gnaisses. Em geral, são imperfeitamente drenados e ligeiramente pedregosos.

São solos pouco profundos com sequência de horizontes A-E-Bt-CB (Figura 6). A cor do horizonte A é bruno e a dos horizontes diagnósticos Bt é bruno-avermelhada-escura. Os horizontes A e Bt1 apresentam estrutura moderada, pequena/

média, blocos subangulares e angulares, ao passo que o horizonte Bt2 é predominantemente constituído por estrutura prismática. Ambos os horizontes Bt são extremamente duros, firmes, plásticos e pegajosos.

São solos praticamente neutros, podendo alguns horizontes apresentar reação moderadamente alcalina com valores de pH entre 7,4-8,3 (Quadro 4). Sua considerável CTC decorre em especial dos elevados teores de Ca^{2+} , notadamente em maiores profundidades. Argilas de alta atividade (Ta) predominam em todos os horizontes.

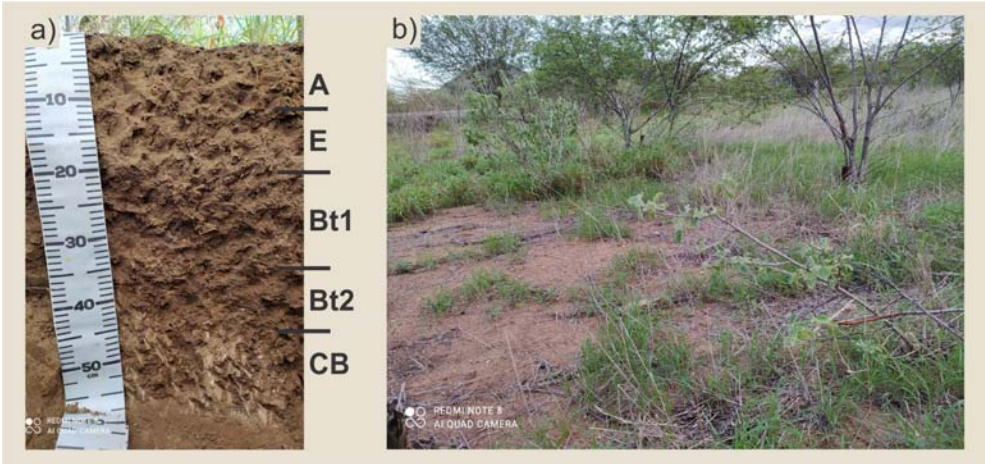


Figura 6. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Luvisolo Háplico Órtico típico (Sumé, PB). Fonte: Cavalcante (2023).

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Luvisolo Háplico Órtico típico da microrregião do Cariri - PB. Dados extraídos de Cavalcante (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-14	358	319	358	160	2,2
E	14-21	303	216	303	180	1,7
Bt1	21-35	239	178	239	340	0,7
Bt2	35-42	268	225	268	300	0,9
CB	42-60	273	244	273	260	1,1

Quadro 5. Continuação.

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	6,5	8,58	0,99	0,03	0,01	9,7	0,2	19,5
E	7,3	7,09	0,81	0,00	0,05	8,4	0,3	16,7
Bt1	7,6	17,09	1,67	0,00	0,26	8,7	0,2	27,9
Bt2	7,0	12,43	1,38	0,00	0,41	9,0	0,4	23,6
CB	6,9	13,42	1,14	0,00	0,41	8,9	0,3	24,2

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	2	50	229,2	11,5
E	3	47	22,9	3,8
Bt1	1	68	20,5	5,2
Bt2	2	60	10,6	3,8
CB	2	60	3,5	1,4

4.5 Vertissolos Ebânicos Órticos típicos

Ocorrem predominantemente em topos aplainados com altitudes entre 400 e 700 m e relevo suave ondulado a ondulado. São oriundos de rochas graníticas ou leucognaisses, cujo intemperismo permite a formação de considerável quantidade de minerais de argila 2:1, notadamente vermiculitas e esmectitas. A considerável expansão e contração desses minerais permite a formação de superfícies de fricção (slickensides) abaixo do horizonte superficial e responde pelo expressivo fendilhamento desses solos no período seco. São solos imperfeitamente drenados, pedregosos e com ocorrência visível de processos erosivos.

São solos rasos (<50 cm), embora também ocorram solos pouco profundos (>50 e <100 cm). Apresentam sequência de horizontes A-Bv-BC (Figura 7), com o horizonte vértico (slickensides e fendas) coincidindo com o horizonte B.

Esses solos são caracterizados pela considerável homogeneidade dos horizontes, nos quais apresentam textura argilosa, coloração bruno-escura – a qual atende às características para o caráter ebânico – estrutura forte, grande/muito grande, prismática e consistência ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa. A transição entre os horizontes é clara e plana. São solos predominantemente neutros, podendo alguns horizontes apresentar reação fortemente alcalina (pH >8,5). Apresentam elevados teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e, conseqüentemente, elevada CTC (Quadro 5).

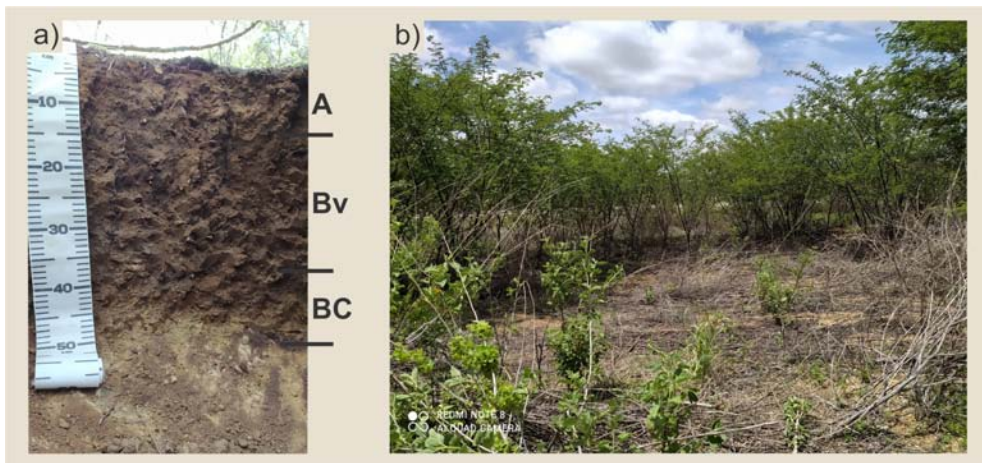


Figura 7. Perfil (a) e paisagem (b) de ocorrência do Vertissolo Ebânico Órtico típico (Serra Branca, PB). Fonte: Cavalcante (2023).

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Vertissolo Ebânico Órtico típico da microrregião do Cariri - PB. Dados extraídos de Cavalcante (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-15	128	181	351	340	1,0
Bv	15-39	120	170	310	400	0,8
BC	39-50	217	198	306	280	1,1

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	6,6	20,81	2,52	0,00	0,68	8,9	0,3	33,2
Bv	7,8	17,96	2,28	0,00	0,74	6,8	0,3	28,1
BC	8,5	16,44	1,73	0,34	0,41	5,5	0,3	24,7

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	1	72	12,0	31,08
Bv	1	74	63,1	17,20
BC	1	76	883,9	2,40

5 Feições morfológicas típicas

As principais feições morfológicas encontradas nos solos do Cariri são contato lítico fragmentário, mosqueados, superfícies de fricção (slickensides) e mudança textural abrupta.

O contato lítico fragmentário ocorre nos Neossolos e permite maior aprofundamento do sistema radicular, que, por sua vez, acelera os mecanismos envolvidos nos intemperismos físico (penetração das raízes nas fendas) e químico (acidificação) do material de origem (Figura 8a). A ocorrência dessa feição também indica percolação de água em maiores profundidades, com implicações diretas no armazenamento e na disponibilidade de água para as plantas, notadamente nos períodos de déficit hídrico em resposta ao clima semiárido.



Figura 8. Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (a) e Argissolo Amarelo Distrófico abrupto com detalhe da transição abrupta entre o horizonte E (eluvial) e o horizonte B textural (iluvial) (b). Fonte: Cavalcante (2023).

A mudança textural abrupta é identificada nos Argissolos e, por vezes, nos Luvisolos, resultando da instalação de processos pedogenéticos específicos que incrementam sobremaneira o conteúdo de argila nos horizontes B subsuperficiais (Figura 8b). Dentre esses, destaca-se o processo de argiluviação, o qual é inferido pela ocorrência de horizonte eluvial E, caracterizado pela concentração residual de minerais primários resistentes ao intemperismo em decorrência da translocação de argila para o horizonte B, onde ocorre a máxima expressão pedogenética.

A ocorrência de mosqueados amarelados e avermelhados nos horizontes transicionais para a rocha também indica que a mudança textural abrupta deve resultar da formação de argila *in situ*, a partir da alteração de minerais primários facilmente intemperizáveis. A ocorrência desses horizontes confirma a retenção de água em solos sujeitos a clima semiárido, bem como aumenta a fragilidade desses solos à erosão hídrica.

As superfícies de fricção (slickensides) são comuns nos Vertissolos, estando fortemente relacionadas ao processo de expansão e contração das argilas em resposta a ciclos de umedecimento e secamento (Figura 9). Ao longo da formação desses solos, são gerados minerais que apresentam a capacidade de reter considerável quantidade de água em sua estrutura, permitindo que o solo apresente altas taxas de movimentação (pedoturbação), o que gera a ocorrência de superfícies de fricção e fendilhamentos quando esses solos são submetidos ao secamento.

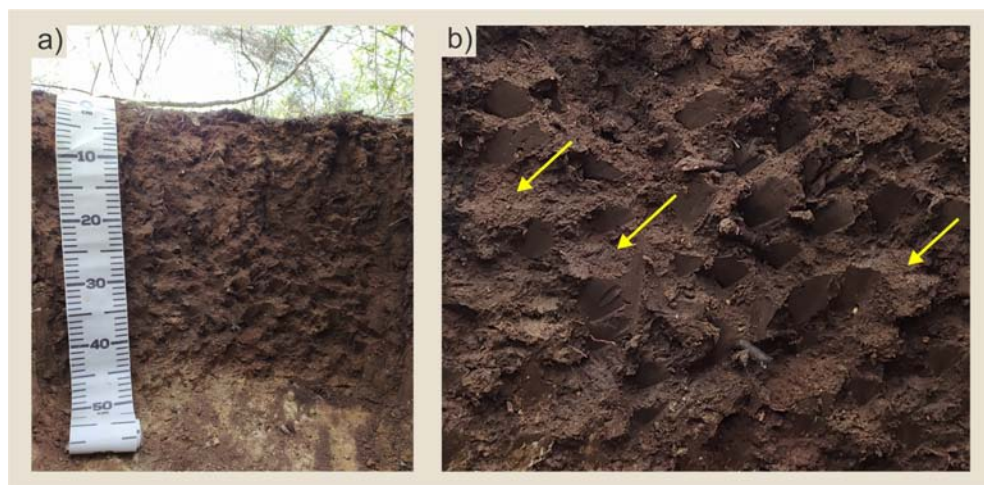


Figura 9. Vertissolo Háplico Órtico típico (a) e detalhe de superfícies de fricção (slickensides) no horizonte vértico Bv (b). Microrregião do Cariri, estado da Paraíba. Fonte: Cavalcante (2023).

Quanto aos mosqueados, são geralmente associados com drenagem restrita nos solos. Nos Cambissolos, a ocorrência dessas feições está relacionada predominantemente com o intemperismo de minerais primários, com consequente formação de minerais secundários (Figura 10). Nesse processo, ocorre a liberação de Fe dos minerais primários, sua solubilização e posterior oxidação na forma de lepidocrocita, goethita e hematita, as quais imprimem, respectivamente, cores

alaranjadas, amareladas e avermelhadas aos solos.

Assim, essas cores secundárias representam mosqueados relacionados com alteração mineralógica *in situ*, com implicações diretas no aumento de argila nos solos e, conseqüentemente, promovendo benefícios físicos e químicos aos solos, tais como melhoria da agregação e aumento da retenção de nutrientes e água.

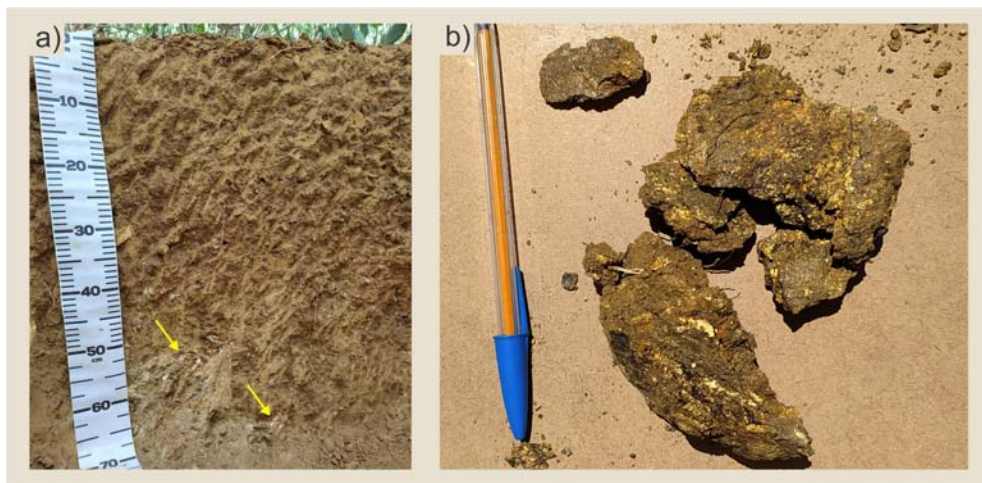


Figura 10. Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico, com setas amarelas indicando os mosqueados no horizonte Cr (a), e detalhe de mosqueados de alteração mineral no horizonte Cr (b). Microrregião do Cariri, estado da Paraíba. Fonte: Cavalcante (2023).

6 Limitações de uso agrícola

As restrições ao uso agrícola dos Neossolos Litólicos e dos Cambissolos Háplicos estão relacionadas aos impedimentos ao uso dos implementos agrícolas, principalmente devido à pouca profundidade, considerável pedregosidade e rochosi-dade (Figura 11). A pouca profundidade, notadamente nos Neossolos Litólicos, também imprime forte deficiência de água a esses solos, dificultando o uso racional da água e do seu aproveitamento pelas plantas.

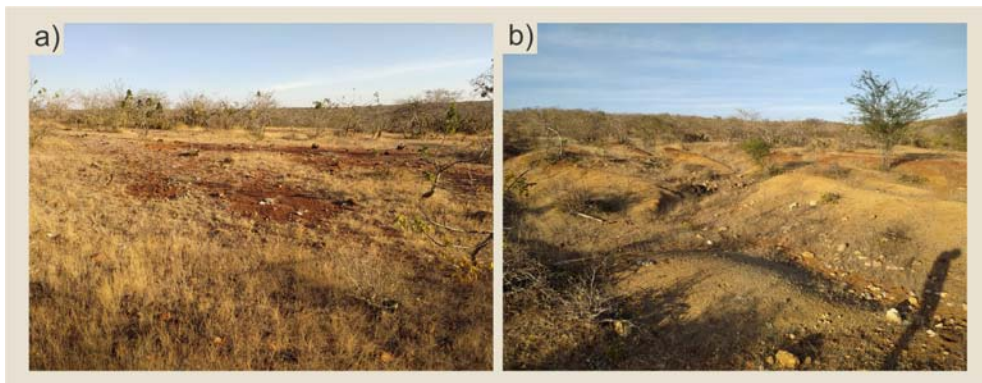


Figura 11. Paisagens presentes no Cariri Paraibano ilustrando as limitações ao uso agropecuário: a) ambiente com presença de pavimento desértico; b) ambiente com presença de afloramento de rochas e pedregosidade. Fonte: Cavalcante (2023).

A ampla ocorrência desses solos em encostas com acentuado declive em paisagens sob relevo ondulado também aumenta consideravelmente a sua susceptibilidade aos processos erosivos. Em específico nos Cambissolos, o incremento de argila no horizonte Bi (argiloso) em relação aos horizontes subjacentes de textura francoargilosa ou franco-argiloarenosa também incrementa as perdas de solos dada a redução da permeabilidade e aumento do escoamento superficial.

Os Argissolos Amarelos e os Luvissolos Háplicos também são altamente susceptíveis aos processos erosivos em razão de sua ocorrência em relevo mais movimentado, em específico em vertentes convexas mais longas, por vezes, com a ocorrência de rupturas entre os segmentos terço médio e inferior. Aliado a isso, o incremento abrupto de argila para o horizonte B permite perdas de solo por escoamento superficial devido à menor capacidade de agregação do horizonte eluvial E.

Esses solos também apresentam, nos horizontes superficiais, maiores teores de silte, com consequente aumento da relação silte/argila. Essa condição reduz a adesão e coesão nesses horizontes, tornando-os ainda mais susceptíveis aos processos erosivos. Por vezes também pode ser encontrada a ocorrência de processos erosivos subsuperficiais em resposta à redução da infiltração da água no horizonte Bt, o que gradativamente acarreta em saturação do horizonte E. Nas áreas com Argissolos, é comum a ocorrência de sulcos e ravinas de larguras variáveis. Esses processos erosivos gradualmente promovem na redução da fertilidade dos solos e influenciam diretamente a mecanização dessas áreas.

Por último, os Luvissolos também são muito susceptíveis ao processo de salinização e sodificação dada a menor espessura do solum (horizontes A+B). As limitações agrícolas dos Vertissolos Ebânicos são majoritariamente de ordem física,

devido à frequente redução da capacidade de enraizamento e à ruptura das raízes promovidas pela presença de argilas expansivas. A natureza expansiva e de elevada reatividade das argilas desses solos também lhes confere uma elevada dureza quando secos, reduzida friabilidade quando úmidos e considerável plasticidade e pegajosidade quando molhados, o que reduz consideravelmente a janela de trabalho em relação às práticas de preparo desses solos.

7 *Potencial de uso das terras*

As potencialidades da maioria dos solos estudados estão relacionadas à elevada fertilidade não associada com excesso de sais ou sódio e à considerável reserva mineral dada a ocorrência de minerais facilmente intemperizáveis, notadamente nos Neossolos, Cambissolos e Luvisolos.

Por meio de irrigação podem ser utilizados para o cultivo intensivo de forrageiras e diversas outras culturas, sempre com manejo adequado da qualidade da água a fim de se evitar a salinização dos solos (Figura 12).

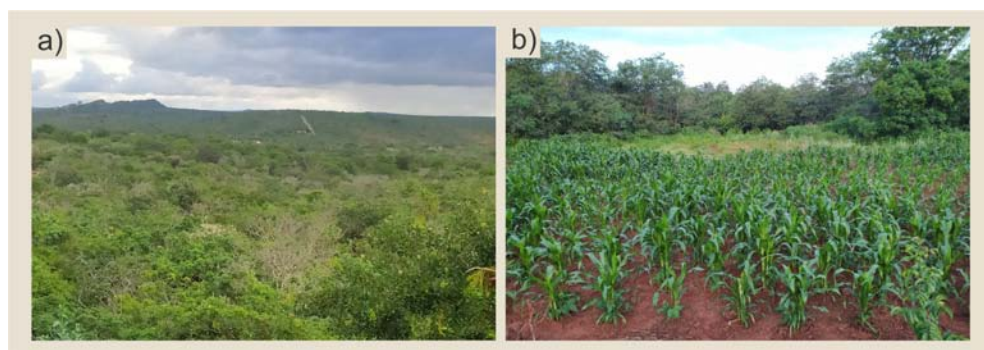


Figura 12. Áreas utilizadas em pequenas propriedades familiares e agroecológicas presentes no Cariri Paraibano ilustrando as limitações ao uso agropecuário: a) ambiente de Caatinga raleada com espécies frutíferas regionais; b) ambiente de produção familiar sob cultivo de milho no curto período das chuvas. Fonte: Cavalcante (2023).

A maioria dos solos também apresentam boa capacidade de retenção de água devido aos maiores teores de argila em profundidade, o que representa água disponível para os vegetais em períodos de déficit hídrico acentuado. Vale ressaltar que, nos Luvisolos e Vertissolos, o horizonte B pode ser encontrado dentro dos primeiros 30 cm de profundidade, o que coincide com a região rizosférica da maioria das culturas de importância agrônômica utilizadas na região.

8 Considerações finais

O Cariri Paraibano é constituído por uma ampla diversidade geológica e geomorfológica que determina a formação de uma variada e complexa cobertura pedológica. Tal complexidade permite a ocorrência, em poucos metros (microrrelevo) de solos rasos, pedregosos e com clara evidência de material alóctone no horizonte A (Neossolos Litólicos) em associação a solos com pequeno incremento de argila em maiores profundidades (Cambissolos).

Por vezes, esse incremento permite a formação de mudança textural abrupta, resultando em solos com elevada susceptibilidade aos processos erosivos, fato esse agravado em razão da ocorrência desses solos em segmentos de terço superior e médio de vertentes convexas sob relevo suave ondulado a ondulado.

Quando os processos pedogenéticos culminam na formação de argilas expansivas, tem-se solos duros, plásticos e pegajosos e com notório fendilhamento nas épocas de maior secamento do perfil. Essa complexidade pedológica acarreta solos com elevada fertilidade natural, o que lhes confere considerável potencialidade agrícola, mas os torna susceptíveis aos processos erosivos e fortemente afetados pelos déficits hídricos da região.

9 Referências

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JL, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil: Meteorol Z. 2013; 22(6):711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Betard F, Peulvast JP, Magalhães AO. Biodiversité, géodiversité et enjeux de leur conservation dans les montagens humides du Nordeste brésilien. Bulletin de l'Association de Géographes Français. 2011; 88(1):17-26.

Brasil. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Folha SB. 24/25 Jaguaribe/Natal, v. 23. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981.

Campos MCC. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. Soil-landscape relationships: concepts, developments and applications. *Ambiência*. 2012; 8(3):963–982. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.05.01rb>.

Cavalcante EC. Relação solo-paisagem em três topossequências sob diferentes materiais de origem na microrregião do Cariri Ocidental da Paraíba. [Dissertação].

Areia: Universidade Federal da Paraíba; 2023.

Corrêa ACB, Tavares BAC, Monteiro KA, Cavalcanti LCS, Lira DR. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. *Revista do Instituto Geológico*. 2010; 31(1-2):35-52. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20100003>.

Falcon N, Tal-Berger R, Hjazin A, Yizhaq H, Stavi L, Rachmilevitch, S. Geodiversity impacts plant community structure in a semi-arid region. *Sci Rep*. 2021; (11):15259. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94698-0>.

Francisco PRM, Santos D, Barbosa RBG, Leite NMG, Ribeiro, GN. Zoneamento agrícola de risco climático da região do Médio Curso do Rio Paraíba. *Brazilian Journal of Development*. 2021; 7(3):25275–25294. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-300>.

Nunes SHP, Dantas Neto J, Silva PF, Santos EG, Matos RM. Indicadores de vulnerabilidade da seca e avaliação da governança de 1991-2010 no semiárido Paraíba-no. 2020; 11(3):210-228. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0018>.

Silva JMC, Barbosa LCF, Leal IR, Tabarelli M. The Caatinga: Understanding the Challenges. In: *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*. Springer International Publishing; 2017. p. 3-19.

Silva PF, Lima JRS, Antonino ACD, Souza R, Souza ES, Silva JRI, Alves EM. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid Environments*. 2017; 147:71–82. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>.

Souza BI, Suertegaray, DMA, Lima VER. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do cariri paraibano. *Mercator*. 2009; 8(16): 217-232. <https://doi.org/10.4215/RM2009.0816.0017.w>

Torres FSM, Silva EP. Geodiversidade do estado da Paraíba. [s.l.] CPRM, 2016.



Plintossolos Pétricos do Tocantins

Daniela Schievano de Campos¹; Raphael Rodrigues Brizzi¹; Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida²; Pablo Vidal-Torrado¹.

¹*Universidade de São Paulo/Esalq*

²*Embrapa Pesca e Aquicultura*

1 Introdução

O estado do Tocantins possui um vasto território dominado pela ordem dos Plintossolos, segundo a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018). Os Plintossolos correspondem a 35% do total de solos do estado, sendo que 25% desses são Plintossolos Pétricos (Figura 1a) (IBGE, 2021). Tal ocorrência é a maior no Brasil e uma das maiores do mundo em áreas contínuas desses solos. Os Plintossolos são classificados como Pétricos quando apresentam caráter litoplíntico ou concrecionário, sendo que o primeiro caracteriza-se por petroplintita (endurecimento irreversível da plintita) contínua e consolidada, e o segundo por petroplintita na forma de nódulos e concreções (Santos et al., 2018). Os Plintossolos Pétricos predominam ao longo das bacias dos rios Tocantins e Araguaia, desde a Depressão do Baixo-Médio Vale do rio Araguaia (sudoeste do estado) até a Depressão do Médio-Alto Vale do rio Tocantins (centro-sul do estado) e Planaltos Dissecados do Tocantins (centro-leste do estado) (Figura 1b), e destacam-se por sustentar os principais platôs e serras remanescentes ao longo dessa faixa (Dantas et al., 2019).

Os Plintossolos Pétricos (sigla - FF) do Tocantins associam-se a diferentes tipos litológicos pertencentes às províncias geológicas do Tocantins e do Parnaíba. Na Depressão do Baixo-Médio Araguaia ocorrem rochas metassedimentares de baixo a alto grau metamórfico, tais como xistos, quartzitos e filitos, pertencentes ao Cinturão Araguaia, de idade neoproterozoica, e inseridas na Província Tocantins (Abreu, 1978; Hasui et al., 1977). Na Depressão do Médio-Alto Tocantins e Planalto Dissecado do Tocantins predominam rochas sedimentares (siltitos, argilitos e arenitos), do Siluriano ao Devoniano, pertencentes às Formações Jaicós, Itaim e Pimenteiras da Bacia do Parnaíba (Frasca e Araújo, 2001; Milani et al., 2003).

Embora considerados solos com baixa aptidão agrícola por serem pedregosos, as extensas áreas cobertas no Tocantins vêm sendo amplamente utilizadas na agricultura intensiva, agregando valor e interesse por esses solos e pelas terras onde ocorrem. Assim, este capítulo tem como objetivo apresentar os principais atributos dos Plintossolos Pétricos do estado de Tocantins ao longo de diferentes compartimentos geomorfológicos e mostrar como essas feições afetam no uso e manejo desses solos.

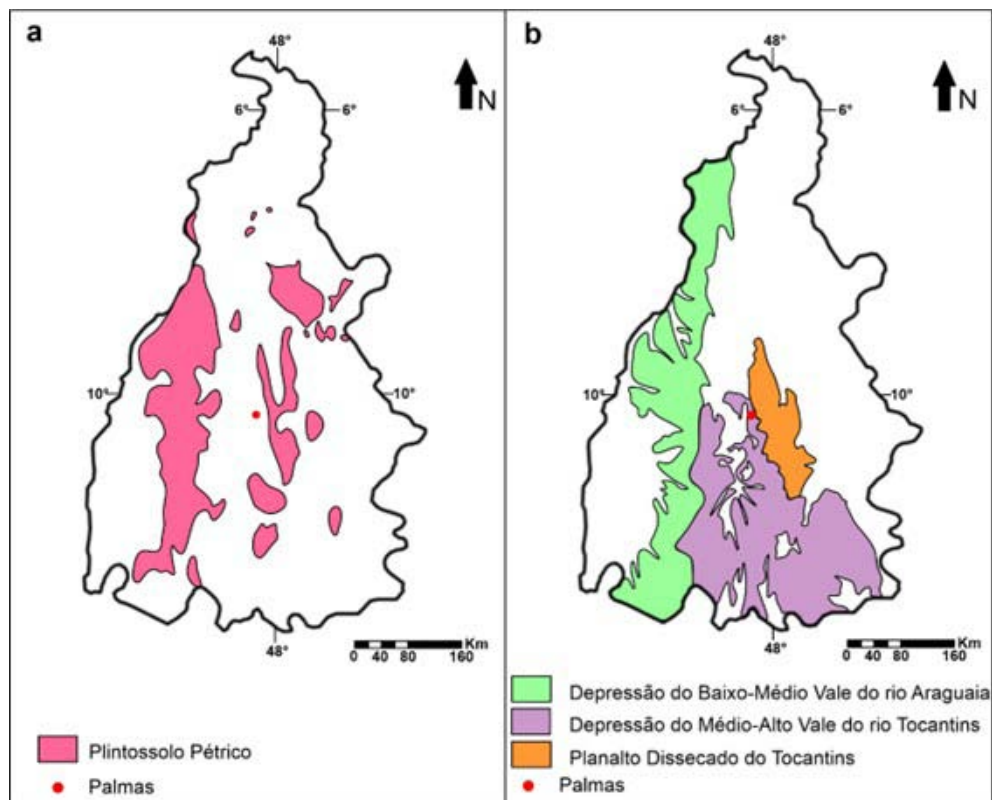


Figura 1. Principais áreas de ocorrência de Plintossolos Pétricos litoplínticos ou concrecionários do estado do Tocantins (a) e principais domínios geomorfológicos associados às áreas de Plintossolos Pétricos no estado do Tocantins (b). Fonte: Adaptado de IBGE (2021) (a) e de Dantas et al. (2019) (b).

2 Caracterização ambiental

O estado de Tocantins, em sua totalidade, apresenta clima do tipo Aw, ou seja, tropical com uma estação seca bem definida, segundo a classificação de Köppen, porém com variação gradativa lateral nos níveis de precipitação, variando de 1.900 mm, na borda oeste do estado, até 1.300 mm em seu extremo leste (Alvares et al., 2013).

Todavia, dois domínios morfoclimáticos se destacam ao longo do estado: o Domínio das Terras Baixas com Florestas Equatoriais da Amazônia ao norte; e o Domínio dos Chapadões Semiúmidos Tropicais do Cerrado nas porções centro e sul (Ab'Saber, 2003). Assim, nas áreas dominadas pelos Plintossolos Pétricos, a vegetação predominante é o Cerrado, sendo que, sobre os Plintossolos Pétricos

Concrecionários (FFc), o bioma Cerrado é típico, ao passo que áreas com Plintossolos Pétricos Litoplínticos (FFlf) podem se formar verdadeiras clareiras na vegetação, em que horizontes litoplínticos contínuos afloram na superfície (Figura 2a). Nessas clareiras formam-se ecossistemas únicos durante os períodos chuvosos (novembro a abril), quando lâminas de água ficam empoçadas sobre os horizontes litoplínticos, facilitando o crescimento de pequenas plantas aquáticas, anfíbios e insetos (Figura 2b-f), o que caracteriza o Campo Rupestre/Campo Limpo (Ribeiro e Walter, 1998).

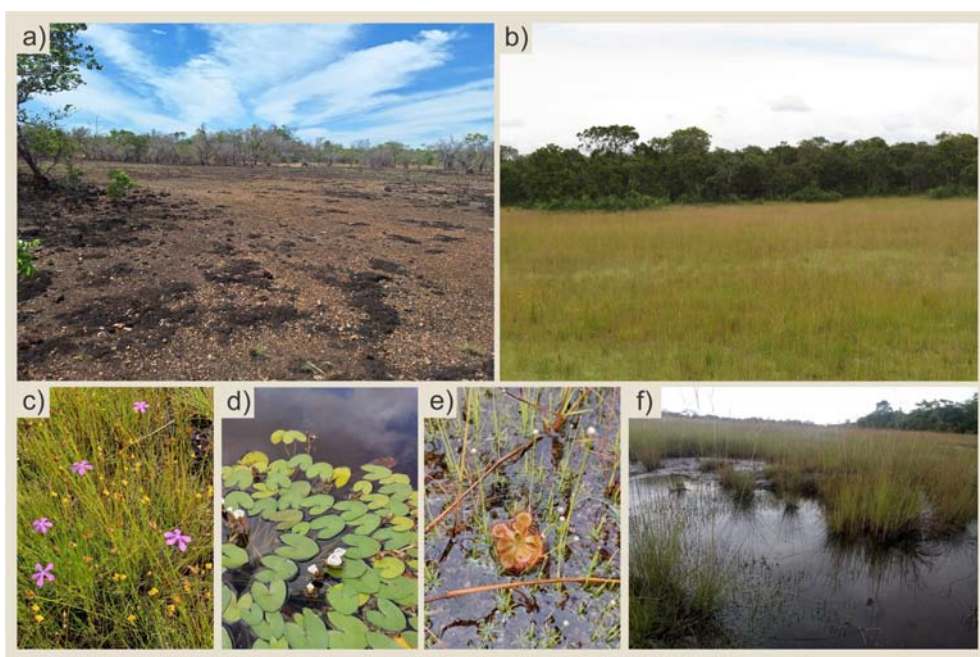


Figura 2. Plintossolo Pétrico Litoplíntico com horizonte litoplíntico aflorando na superfície, formando vegetação do tipo Campo Rupestre/Campo Limpo na região da bacia do Araguaia: a) durante período seco, a vegetação desaparece, expondo as petroplintitas; b) durante período chuvoso, a vegetação fica exuberante; c-f) detalhes da vegetação. Fonte: Dos autores.

Com relação ao relevo, a Depressão do Baixo-Médio Araguaia caracteriza-se por colinas amplas e suaves, inselbergs e outros relevos residuais (Dantas et al., 2019). As altitudes nessa área variam de ~ 250 m a 380 m. Na Depressão do Alto-Médio Tocantins, as elevações variam de ~ 200 m a 700 m, sendo compostas por superfícies aplainadas conservadas, planaltos, chapadas e platôs, além de relevos fortemente dissecados (Dantas et al., 2019).

3 Relação solo-paisagem

Associações de Plintossolos Pétricos (FF) Concrecionários e Litoplínticos têm instigado pesquisas sobre a evolução da paisagem e podem dar respostas importantes a todos que fazem uso dos solos tanto para cultivo agrícola quanto para o entendimento da dinâmica natural dos ecossistemas locais e regionais, uma vez que há grande variabilidade morfológica e genética entre esses solos.

Nesse sentido, entender se o relevo contribui para a formação dos Plintossolos Pétricos ou se a formação dos solos é que determina certa variabilidade das geoformas, ou se ambos funcionam mutuamente para configurar a paisagem atual, são os desafios que envolvem os estudos da relação solo-paisagem no Tocantins. A distribuição desses solos desde a bacia do rio Tocantins até a Planície do rio Araguaia ocorre em diferentes compartimentos de relevo e pode indicar diferentes histórias de evolução, o que impacta diretamente a maneira pela qual a agricultura se estabeleceu sobre esses solos na região.

Assim, na gênese dos Plintossolos Pétricos sobre rochas sedimentares e metamórficas com diferentes morfologias, a oscilação do lençol freático teve papel preponderante, concentrando ferro por capilaridade (Millot, 1972; Aleva, 1983; Tardy, 1993). Além disso, com a evolução da paisagem por erosão e entalhamento dos vales, ocorreu o abaixamento dos níveis de base regionais, o que ocasionou, em algumas partes da paisagem, uma intensa ferruginização do saprolito. Esses processos podem ajudar a explicar a influência de petroplintitas na compartimentação do relevo, revelando como a pedogênese afeta na evolução da paisagem e vice-versa. Na Figura 3 é apresentado um perfil topográfico W-E, que abrange as bacias dos rios Araguaia e Tocantins, mostrando as principais compartimentações geomorfológicas da área.

É comum a presença de Plintossolos Pétricos Litoplínticos sobre a Serra do Lajeado (Figura 3c, d), localizada em planalto residual, onde os horizontes litoplínticos sugerem um modelo de evolução pedogenética por oscilação do lençol freático, conforme apontado por Tardy (1993). Isso ajuda a sustentar uma superfície de cimeira acima dos 700 m de altitude, com forte tendência ao recuo paralelo das vertentes e formação de pedimentos, conforme modelo de evolução geomorfológica preconizado por King (1956).

Na Depressão Tocantinense (Figura 3d), os Plintossolos Pétricos são majoritariamente concrecionários, com resquícios importantes de horizontes litoplínticos que foram degradados e se encontram em diferentes níveis dentro dos perfis. Isso explica a variabilidade dos Plintossolos Pétricos, bem como o porquê de alguns agricultores obterem maior produtividade do que outros com esses solos. Nesse sentido, em termos geomorfológicos acredita-se que esses solos podem estar associados ao desenvolvimento de superfícies aplainadas devido à pedogênese

e alterações geoquímicas sob clima tropical semiúmido e estabilidade tectônica, como proposto pelo modelo de Büdel (1992).

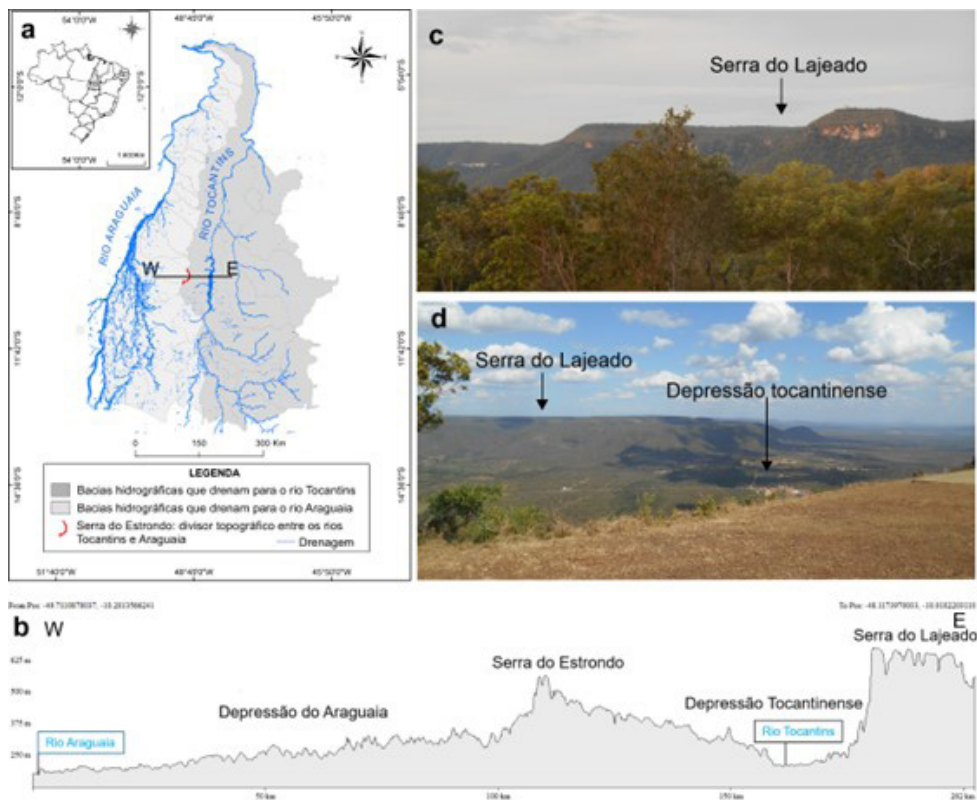


Figura 3. Disposição das bacias hidrográficas do Tocantins e do Araguaia, bem como localização do perfil topográfico E-W (a); perfil topográfico E-W apresentando os principais compartimentos geomorfológicos da área (b) – em todos eles ocorrem FFC e FFLF; fotos da Serra do Lajeado em contato com a Depressão Tocantinense (c e d). Fonte: Raphael Brizzi.

Também são encontrados Plintossolos Pétricos Concrecionários sobre sedimentos cenozoicos na Depressão, às margens do rio Tocantins. Esses solos apresentam provável gênese alóctone, uma vez que são encontrados “bolsões” de duricrusts ferruginosos no tamanho de matacão com fácies morfológicas similares às encontradas nos Plintossolos Pétricos Litoplínticos da Serra do Lajeado.

Plintossolos Pétricos Litoplínticos também são comumente encontrados em morros testemunhos na Depressão Tocantinense, com horizonte litoplíntico fragmentado. A morfologia colunar dessas petroplintitas sugere uma degradação geoquímica, marcada por vários fluxos ferruginosos cimentantes secundários. A

partir de fissuras e poros verticalizados de origem geoquímica, dá-se o crescimento de raízes e a adição de matéria orgânica, o que favorece os processos biogeoquímicos de degradação e evolução para horizontes concrecionários no perfil.

Na Serra do Estrondo, os Plintossolos Pétricos Concrecionários apresentam perfis de intemperismo completos (zona pálida, zona mosqueada, plintita, petroplintita maciça e solta) (Tardy, 1993) e não completos, o que indica pedogênese variada em relação à Serra do Lajeado e Depressão Tocantinense. A exumação do embasamento metamórfico pré-Cambriano, no contato com rochas sedimentares devonianas da Formação Pimenteiras, evidencia o trabalho erosivo e pedogenético a que essa superfície foi submetida ao longo do Cenozoico quando comparada com o planalto residual da Serra do Lajeado, o que motiva a utilização de métodos de datação radiométrica das petroplintitas nos estudos de evolução da paisagem.

Na Depressão do Rio Araguaia, os Plintossolos Pétricos Litoplínticos apresentam espessura maior do horizonte litoplíntico, com frequência superior a 200 cm na forma de verdadeiras “lajes”. Isso se dá em cotas altimétricas consideravelmente mais baixas em relação aos compartimentos da bacia do rio Tocantins. Estes se encontram, portanto, em níveis mais próximos do nível de base regional, escalonados em patamares sucessivamente mais baixos entre si, sendo, em sua origem, mais suscetíveis às oscilações do lençol freático. Entre 200 m e 380 m de altitude, predominam superfícies com topos ora aplainados, ora arredondados, com alguns morros residuais na paisagem, algumas vezes associados a Plintossolos Pétricos Litoplínticos. Abaixo dos 200 m de altitude, ocorrem planícies flúviolacustres e terraços fluviais de idade quaternária, com patamares isolados em relação à área circundante (Dantas et al., 2019).

Em geral, a morfologia variada dos Plintossolos Pétricos – ora notavelmente Litoplínticos, a exemplo da Bacia do Araguaia, ora Concrecionários, como em ambas as bacias – sugere que os diferentes fatores de formação, em especial o material de origem e o revelo, configuram dois cenários distintos de evolução regional para ambas as bacias hidrográficas. A diversidade morfológica desses solos se dá, em particular, pela natureza da fração cascalho, que pode ser mais ou menos cimentada, mais ou menos alterada e, finalmente, pode ter origem diferente: ou por processos pedogenéticos de evolução laterítica, ou por ferruginização do saprolito, que, ao final, também é um processo pedogenético. Além disso, a natureza do material de origem pode produzir mais ou menos argila, sendo consideráveis os conteúdos de argila tanto nos Plintossolos da bacia do Tocantins (rochas pelíticas predominantemente) quanto nos da bacia do Araguaia (rochas metapelíticas de diferentes graus de metamorfismo).

4 Dados pedológicos

4.1 Plintossolos Pétricos Concrecionários (argissólicos e latossólicos)

Dois perfis de Plintossolo Pétrico Concrecionário (Figura 4) bastante representativos são aqui descritos e analisados. Os respectivos dados químicos de cada perfil são apresentados nos Quadros 1 e 2.

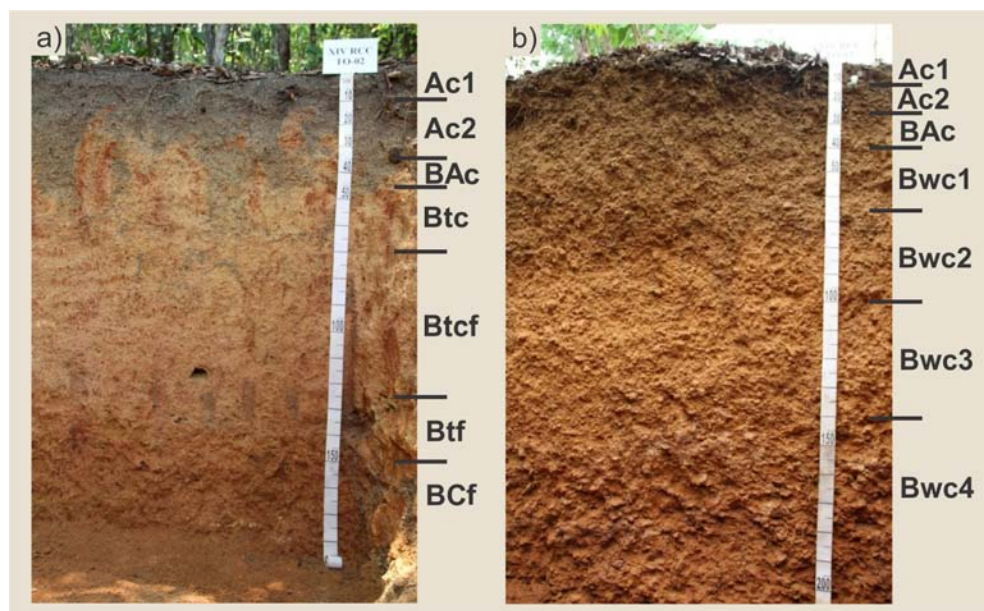


Figura 4. Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico derivado de rochas metamórficas da Formação Couto Magalhães (filitos), município de Lagoa da Confusão – TO (a), e Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico derivado de rochas da Formação Pimenteiras (siltitos), município de Palmas – TO (b). Fonte: Dos autores.

Os perfis têm em comum a ocorrência dos horizontes concrecionários descritos de acordo com as normas do SiBCS (2018) e sem ocorrência de horizonte litoplântico dentro da seção de controle (200 cm). Diferem por o primeiro ter incremento de argila diagnóstico para horizonte B textural (Bt) ou caráter argissólico dentro dos 150 cm iniciais e o segundo não ter esse incremento, mas coincidem por terem horizonte B latossólico (Bw) com o concrecionário dentro dos 150 cm a partir da superfície.

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico (Figura 4a). Dados extraídos de Oliveira et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)					Relação Silte - Argila
		Cascalho	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Ac1	0-14	651	586	99	149	166	0,90
Ac2	14-33	608	521	131	144	204	0,71
BAC	33-45	646	283	119	208	390	0,53
Btc	45-70	603	138	66	220	576	0,38
Btcf	70-122	535	80	33	211	676	0,31
Btf	122-151	423	78	33	211	678	0,31
BCf	151-180+	133	84	35	265	616	0,43

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
Ac1	5,0	2,4	2,0	0,26	11,9	0,4	17,0	9,9
Ac2	5,3	0,6	0,6	0,18	4,7	0,4	5,9	6,5
BAC	5,3	0,5	0,5	0,22	4,7	0,4	5,8	3,8
Btc	5,8	0,2	0,2	0,12	2,9	0	3,2	6,8
Btcf	6,2	0,1	0,1	0,04	1,3	0	1,5	12,4
Btf	6,1	0,1	0,1	0,04	1,7	0	1,8	10,7
BCf	6,1	0,1	0,1	0,03	2,1	0	2,2	11,5

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Ac1	8	28	5	30,4
Ac2	33	14	1	9,8
BAC	36	12	1	9,6
Btc	0	9	<1	6,1
Btcf	0	13	<1	2,6
Btf	0	6	<1	2,4
BCf	0	5	<1	1,6

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico (Figura 4b). Dados extraídos de Oliveira et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)					Relação Silte - Argila
		Cascalho	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Ac1	0-11	469	261	184	167	388	0,43
Ac2	11-26	482	184	132	168	516	0,33
BAC	26-42	449	142	78	203	577	0,35
Bwc1	42-66	507	121	74	190	615	0,31
Bwc2	66-100	383	103	55	214	628	0,34
Bwc3	100-140	511	94	63	210	633	0,38
Bwc4	140-195+	385	116	76	175	633	0,28

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
Ac1	4,8	0,1	0,05	0,05	7,0	0,9	8,1	9,9
Ac2	4,9	0,1	0,03	0,03	5,9	0,6	6,6	6,5
BAC	5,0	0,1	0,02	0,02	4,9	0,5	5,5	3,8
Bwc1	5,0	0,1	0,02	0,02	4,4	0,3	4,8	6,8
Bwc2	5,1	0,1	0,01	0,01	3,5	0,1	3,7	12,4
Bwc3	5,4	0,1	0,01	0,01	2,1	0	2,2	10,7
Bwc4	6,0	0	0,01	0,01	1,2	0	1,4	11,5

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Ac1	82	2	1	17,5
Ac2	86	2	<1	14,0
BAC	83	2	<1	11,4
Bwc1	75	2	<1	9,3
Bwc2	50	3	<1	7,8
Bwc3	0	5	<1	4,3
Bwc4	0	14	<1	2,7

Ambos são solos muito intemperizados, com baixa CTC e pobres em nutrientes (Quadros 1 e 2), com necessidade evidente de correção química. Os conteúdos de carbono (C) no horizonte A desses solos são muito variáveis, sendo, nos dois exemplos aqui apresentados, considerados como teores altos (Quadro 1) a médios (Quadro 2) de C de 0-15 cm, reduzindo para 1/3 dos teores de C em profundidade, conforme evidenciado no Quadro 1.

Ao examinar resultados de análises de solos de textura cascalhenta, como os dos Quadros 1 e 2, salienta-se que tanto a granulometria quanto as análises químicas referem-se à terra peneirada no laboratório (terra fina, fração menor que 2 mm de diâmetro), excluindo o cascalho. Como a raiz da planta explora volume, o usuário de análises para fins de fertilidade deve levar em consideração esse detalhe. Esse problema será tratado na parte final deste capítulo.

Tanto os Plintossolos Pétricos Concrecionários argissólicos quanto os latossólicos são bem drenados, e a capacidade de retenção de água é similar em ambos, com valores de Água Disponível (AD) ponderados, até 50 cm, de 1,05 a 0,96 mm cm⁻¹ (Neves et al. 2023), respectivamente. A textura de ambos foi descrita como: textura argilosa cascalhenta/muito argilosa muito cascalhenta nos Plintossolos Pétricos Concrecionários argissólicos; e textura média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta/muito argilosa muito cascalhenta nos Plintossolos Pétricos Concrecionários latossólicos.

4.2. Plintossolos Pétricos Concrecionários típicos

Descrições micromorfológicas em outros perfis de Plintossolos Pétricos Concrecionários do Tocantins (Figura 5) mostram a relação entre cascalhos (nódulos) e terra fina, bem como a natureza desses nódulos. A Figura 6 mostra fotomicrografias de nódulos soltos em matriz composta por microagregados de argila e excrementos, revelando boa porosidade nesses solos. Parte desses nódulos são alteromórficos (preservam características do material de origem), ao passo que outros são típicos (sem estrutura interna), granulares (com halo de depleção de ferro) e pisolíticos (com córtex de revestimento ferruginoso) (Tardy, 1993; de Campos et al., 2024).

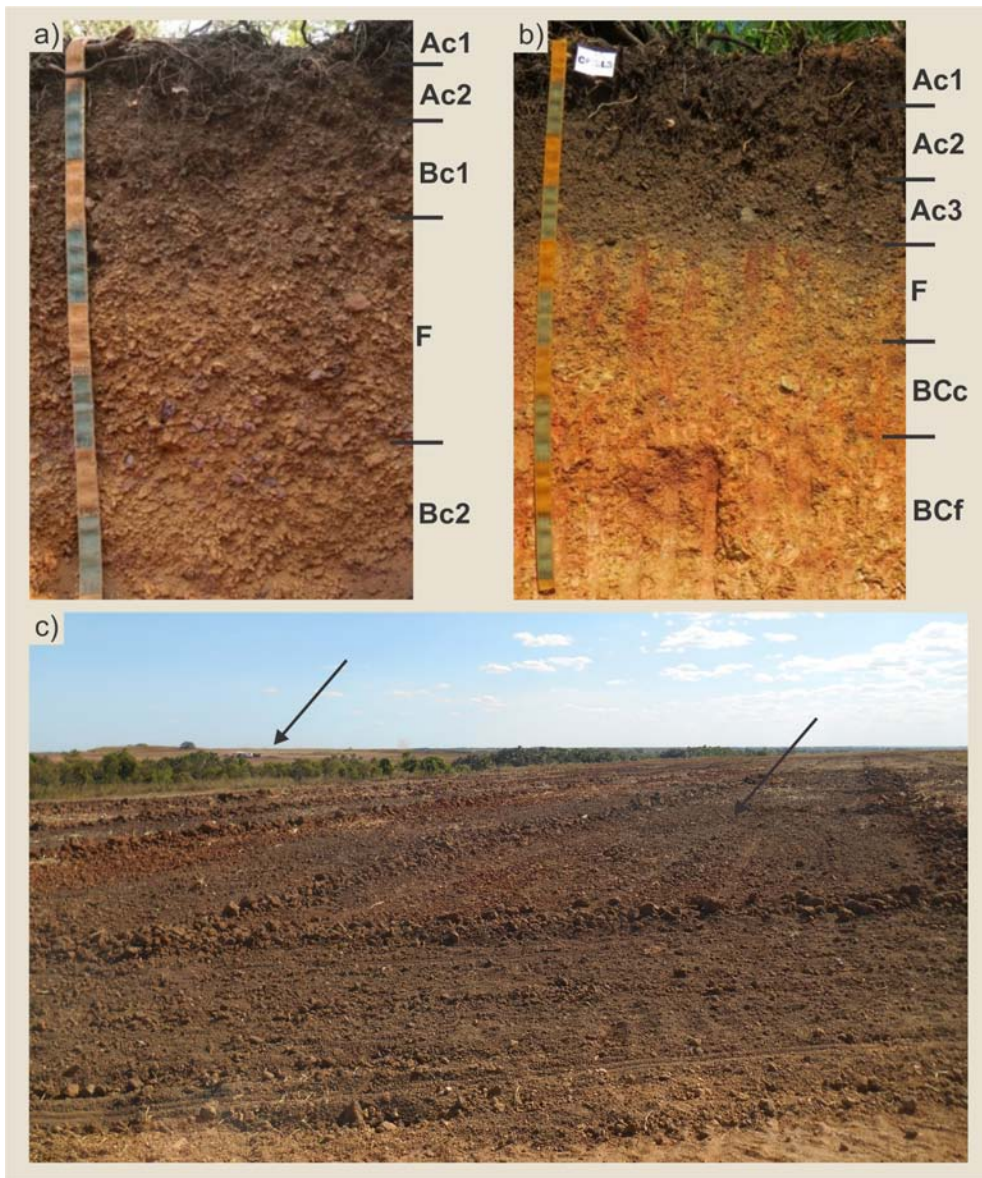


Figura 5. Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, derivado de sedimentos da Formação Pimenteiras, município de Paraíso de Tocantins – TO (a); Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, derivado de rochas metamórficas (xistos) da formação Couto Magalhães, município de Cristalândia – TO (b); agricultura intensiva tomando o espaço de pastagens no estado do Tocantins, como mostra a paisagem em etapa de preparação para o manejo (c). A proporção entre a quantidade de terra fina (fração menor que 2 mm) e a de cascalho é muito relevante para o sucesso do empreendimento. Fonte: Alexandre Uhlmann (a), Amanda Catarucci (b) e Daniela Schievano de Campos (c).

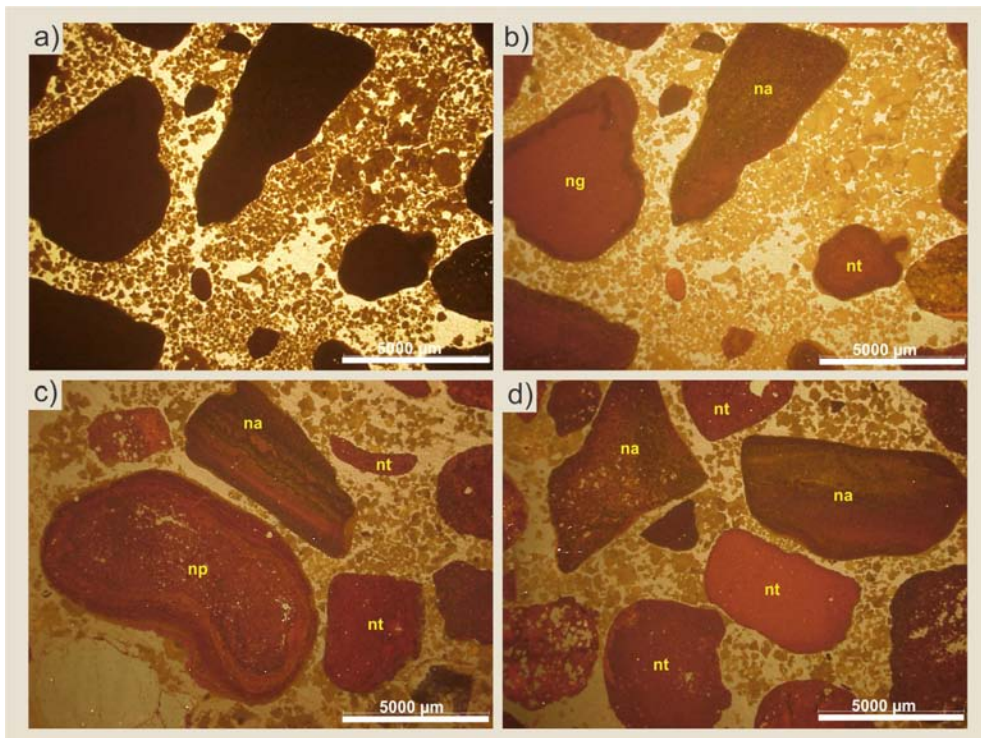


Figura 6. Fotomicrografias de FFC revelando a elevada porosidade viabilizada pelos microagregados da porção fina do solo (a, b, c e d). Os nódulos presentes apresentam morfologias e pedogênese variadas. na – nódulo alteromórfico; ng – nódulo granular; nt – nódulo típico; np – nódulo pisolítico. Fonte: Daniela Schievano de Campos e Thiago Vidoca.

4.3 Plintossolos Pétricos Litoplínticos (típicos e êndicos)

Em Plintossolos Pétricos Litoplínticos (Figuras 7 e 8), a micromorfologia revela baixa porosidade nos horizontes litoplínticos. Em petroplintitas maciças e em formação, a matriz apresenta-se endurecida e composta por óxidos de ferro (hematita e/ou goethita), caulinita e grãos de quartzo, e praticamente não há porosidade (Figura 9a e 9b). Nesses perfis prevalecem os processos de lateritização, caracterizados por intensa cimentação de ferro durante períodos cíclicos de secamento e umedecimento (Tardy, 1993). Quando há indício de degradação em petroplintitas maciças, com a formação de nódulos pisolíticos e/ou granulares, dissoluções químicas dão início à formação de poros e canais na matriz desses solos (Figura 9c e 9d).

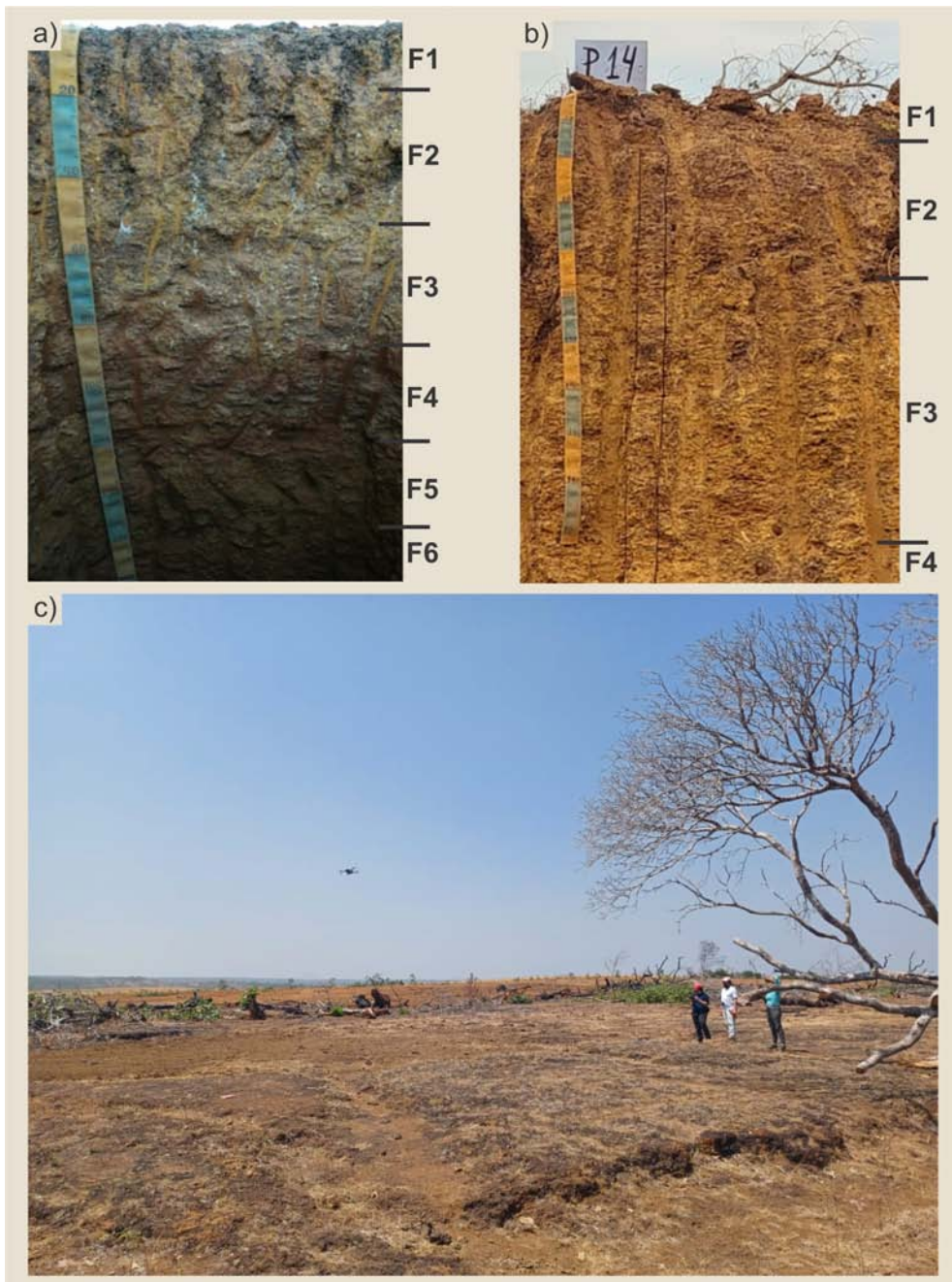


Figura 7. Plintossolos Pétricos Litoplínticos típicos derivados de rochas metamórficas da Formação Pequizeiro, município de Cristalândia – TO (a); derivado de rochas sedimentares da Formação Pimenteiras, município de Palmas – TO (b); paisagem moldada por estes solos caracteriza-se por superfície endurecida e escassez de vegetação (c). Fonte: Alexandre Uhlmann (a), Michele Ribeiro Ramos (b) e Fernando Nadal Villela (c).

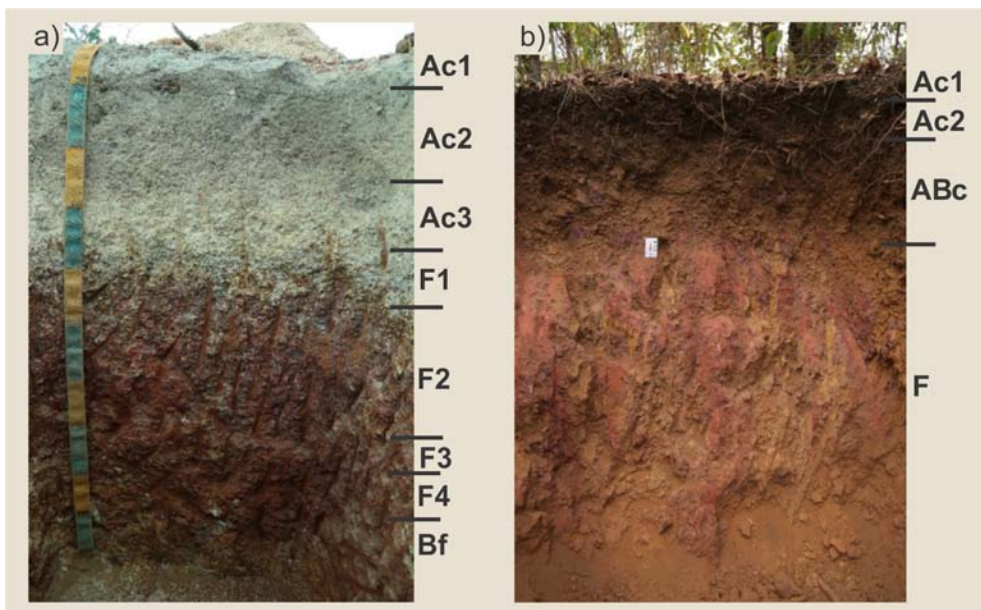


Figura 8. Plintossolos Pétricos Litoplínticos êndicos: perfil derivado de rochas metamórficas (xistos) da Formação Couto Magalhães, município de Lagoa da Confusão – TO (a); perfil derivado de rochas sedimentares (siltitos) da Formação Pimenteiras, município de Palmas – TO (b). Fonte: Alexandre Uhlmann.

5 Feições morfológicas típicas

Os Plintossolos Pétricos Concrecionários do Tocantins, independentemente de onde se localizam, em geral apresentam espesso horizonte concrecionário, com estrutura fraca a moderada, grãos simples, muito pequenos e granulares. O que chama a atenção é a grande quantidade de nódulos, pequenos a grandes, ferruginosos e com variedade morfológica (pisolíticos, típicos, alteromórficos) (Figuras 10 e 11).

Por outro lado, os Plintossolos Pétricos Litoplínticos podem apresentar horizontes litoplínticos contínuos e maciços (Figura 7a e 7b), com espessuras que podem ultrapassar os 200 cm, ou ainda podem compor horizontes irregulares e descontínuos truncados lateralmente por horizontes concrecionários. O primeiro tipo é bastante frequente na Depressão do Araguaia, e o segundo tipo pode ser encontrado em qualquer localidade.

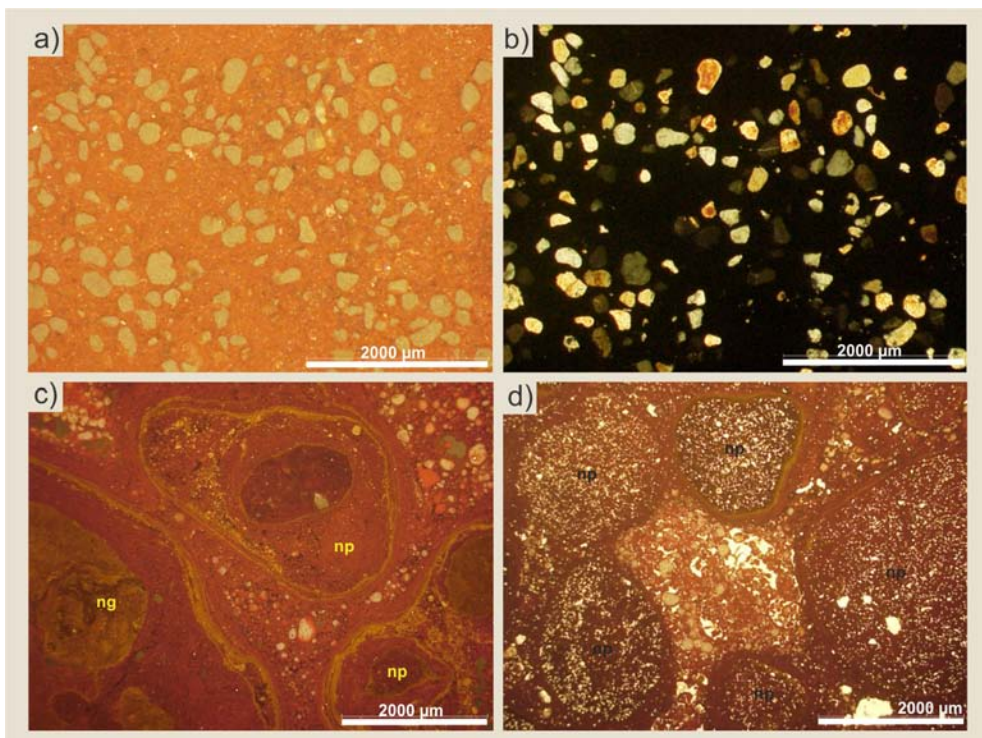


Figura 9. Fotomicrografias de petroplintitas maciças: matriz maciça e endurecida marcada por intensa cimentação de ferro e ausência de porosidade (a e b); matriz maciça, mas com início de degradação, formando nódulos e pequenas porosidades (c e d). ng – nódulo granular; np – nódulo pisolítico. Fonte: Daniela Schievano de Campos e Raphael Brizzi.

O uso de fácies morfológicas na descrição de petroplintitas ainda é pouco explorado em Plintossolos Pétricos brasileiros, porém, trata-se de uma ferramenta eficaz na interpretação de processos pedogênicos e na comparação evolutiva entre diferentes perfis de solo. Essa ferramenta permite definir a gênese das petroplintitas, se litomórficas, ou seja, se a estrutura do material de origem ainda é preservada, ou se pedomórficas, em que a pedogênese elimina as características do material de origem (de Campos et al., 2024). Os perfis deste estudo revelaram uma ampla variedade morfológica, o que sugere a atuação de diferentes processos evolutivos, além da transformação e degradação das petroplintitas.

Alguns Plintossolos Pétricos Concrecionários, a exemplo do perfil da Figura 4b, revelaram uma intensa ferruginização sobre o material de origem, caracterizando-se por fácies lamelares com maior expressividade em direção à base (Figura 10a e 10b). Nesses casos, nódulos alteromórficos são predominantes ao longo

de todo o perfil, indicando solos litomórficos. Em outros Plintossolos Pétricos Concrecionários ocorrem principalmente fácies nodular, metanodular, granular, pisolítica ou protopisolítica, características de solos predominantemente pedomórficos (Figura 10c).

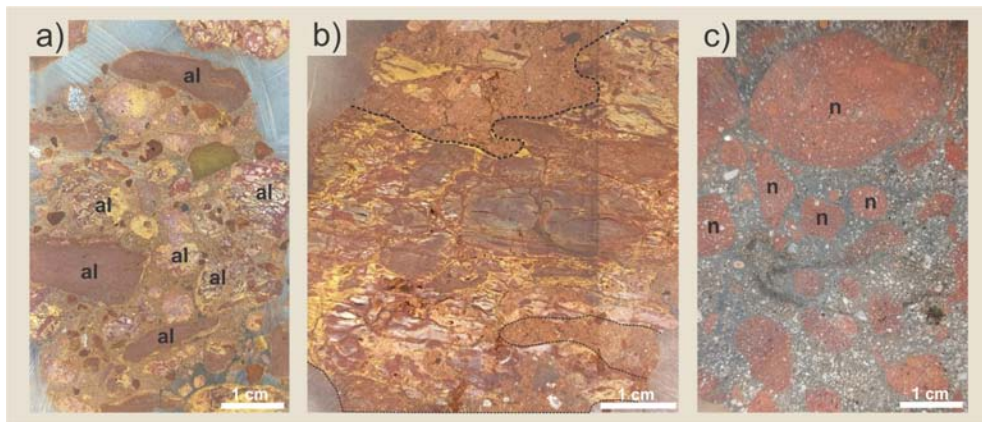


Figura 10. Fotomicrografias de um Plintossolo Pétrico Concrecionário. Predominância de nódulos alteromórficos (a) e fácies lamelares (b), definida pelo material de origem bem preservado e ferruginizado, caracterizando petroplintitas litomórficas. Fácies nodulares são típicas de petroplintitas pedomórficas (c). al –nódulos alteromórficos; n – nódulos típicos. Fonte: Daniela Schievano de Campos.

Os horizontes litoplínticos dos Plintossolos Pétricos Litoplínticos, em especial os localizados na bacia do Rio Araguaia (Figuras 7a e 8a), são caracterizados por fácies maciças e vermiformes, com coloração ora amarelada, ora avermelhada (Figura 11a e 11c). Esses perfis são pedomórficos e revelam o mais alto grau evolutivo das petroplintitas.

O perfil da Figura 8b é um exemplo de Plintossolo Pétrico Litoplíntico em que o horizonte litoplíntico aparece truncado a um horizonte concrecionário, resultando em uma notável variedade de fácies morfológicas (Figura 11d e 11f). Um núcleo mais preservado com fácies maciças, mas também vermiformes e alveolares a 110-140 cm revelam início de degradação (Figura 11e), evoluindo para fácies nodulares/granulares no topo e na base do perfil (Figura 11d e 11f), expondo início de formação no topo, bem como degradação na base e também lateralmente.

Pelas análises morfológicas das petroplintitas de vários perfis de solo do Tocantins, pode-se deduzir que os Plintossolos Pétricos Concrecionários pertencentes à bacia do rio Tocantins, principalmente aqueles localizados nas maiores elevações, apresentam maior tendência à degradação, predominando fácies nodular, granu-

lar e metagranular. Por outro lado, os Plintossolos Pétricos Litoplínticos localizados na bacia do rio Araguaia estão melhor preservados do que os da bacia do rio Tocantins, independentemente de sua posição topográfica, predominando fácies vermiforme, alveolar, protopisolítica e, algumas vezes, maciça.

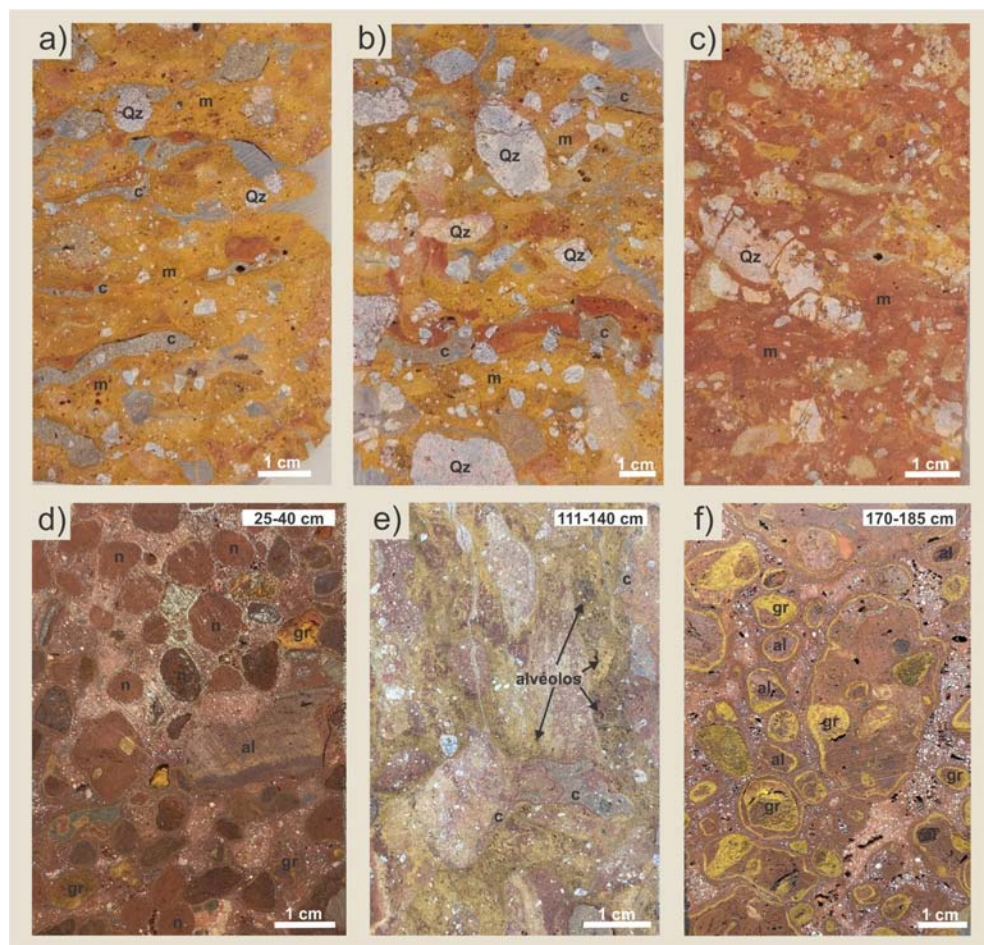


Figura 11. Principais fácies morfológicas de um Plintossolo Pétrico Litoplíntico: fácies maciças endurecidas ora amareladas, ora avermelhadas (a, b e c) e, em alguns casos, fácies vermiformes caracterizadas por canais horizontalizados (a e b). O perfil caracteriza-se por fácies nodulares no topo (d); fácies maciças, tabulares e alveolares no centro (e); e fácies granulares, com aumento de nódulos alteromórficos na base (f). al – nódulos alteromórficos; n – nódulos típicos; gr – nódulos granulares; c – canais; m – matriz maciça; Qz – quartzo. Fonte: Daniela Schievano de Campos.

6 Limitações de uso agrícola

A presença de material mais grosso (cascalho) em Plintossolos Pétricos imprime dificuldade no manejo desses solos no que diz respeito à capacidade de armazenamento de água e nutrientes, bem como ao preparo físico das áreas para uso de mecanização agrícola de semeadura e colheita.

Por isso, conhecer as características dos Plintossolos Pétricos em relação ao tamanho da fração grossa do solo (cascalhos, calhaus e matacões), à proporção de terra fina vs cascalho no volume do solo e à granulometria da terra fina é importante para determinar o maior ou menor potencial de uso agrícola da grande variabilidade (tipos) de Plintossolos Pétricos que ocorrem no estado do Tocantins.

Mas, antes de compreender os tipos de Plintossolos Pétricos com maior ou menor aptidão agrícola, é necessário compreender quais tipos não têm qualquer aptidão para cultivos intensivos. Para essa análise, a questão da profundidade efetiva do solo é fundamental, uma vez que os Plintossolos Pétricos Litoplínticos (Figura 7) ou endolitoplínticos (Figura 8) são mais suscetíveis a alagamentos nos períodos chuvosos ou a estresse hídrico no período seco, ou em veranicos, devido à limitação ao crescimento do sistema radicular em profundidade.

Essa limitação pode ocorrer por meio de uma camada de impedimento denominada horizonte litoplíntico, caracterizado por uma zona de, no mínimo, 10 cm de espessura com presença de petroplintita contínua ou praticamente contínua, ou em seção fragmentada, mas com blocos grandes de petroplintita (maior que 20 cm) (Santos et al., 2018).

Quando o horizonte litoplíntico ocorre em profundidade de até 40 cm, o solo é classificado como Plintossolo Pétrico Litoplíntico (FFIf) (Santos et al., 2018) (Figura 7). Mesmo se o horizonte litoplíntico ocorrer em espessura insuficiente, ou em posição que não permita a classificação como FFIf, para fins de manejo as limitações ao cultivo intensivo serão muito semelhantes. Nestes casos, o solo sofre encharcamento durante o período chuvoso (Figura 2f), pois a camada de impedimento limita a infiltração da água e as plantas entram em estresse hídrico severo em períodos de estiagem (Figura 2a) devido ao sistema radicular superficial limitado à profundidade da camada de impedimento e devido à pouca quantidade de terra fina (que armazena água) em relação ao cascalho na massa total do solo.

De maneira análoga, essas limitações ao cultivo agrícola também ocorrem em alguns Plintossolos Pétricos Concrecionários (FFc), que são solos com horizonte concrecionário, caracterizado por presença de petroplintita em pelo menos 50% do volume do solo, de forma fragmentada e misturada numa matriz terrosa de textura variada, em espessura mínima de 30 cm (Santos et al., 2018).

Mesmo sem a presença da camada de impedimento, os Plintossolos Pétricos Concrecionários que ocorrem em área de transição, próximos às cotas mais baixas

da paisagem, apresentam limitações de manejo muito semelhantes por também serem relativamente rasos, com restrição à drenagem. Esses solos apresentam lençol freático superficial, em que a presença de plintita e/ou cores variegadas indica ambiente redutor. Assim como os solos com camada de impedimento, devem ser destinados ao cultivo de plantas forrageiras adaptadas a condições de encharcamento ou mantidos para preservação ambiental.

7 Potencial de uso das terras

Plintossolos Pétricos Concrecionários profundos, sem restrição à drenagem ou ao crescimento do sistema radicular e que não tenham alagamentos no período de safra, apresentam potencial para o cultivo agrícola intensivo e mecanizado (Figuras 4 e 5). São justamente nesses tipos de solos que a agricultura se expande de forma substancial na fronteira agrícola, muitas vezes, com produtividades compatíveis com as obtidas em áreas de solos tropicais sem cascalho (Almeida et al., 2024).

Depois dessas condições garantidas, quanto maior a porcentagem de argila na fração de terra fina e a relação terra fina/cascalho e menor o tamanho dos fragmentos grossos, maior será o potencial produtivo dos Plintossolos Pétricos.

A presença de fragmentos grandes de petroplintitas (calhaus e matações) nos Plintossolos Pétricos irá influenciar nos custos de preparo das áreas para uso agrícola intensivo. Para superar as condições do clima tropical úmido da região de fronteira agrícola, caracterizado por altas temperaturas e veranicos frequentes, e para corrigir a acidez desses solos, que são intemperizados e têm baixa disponibilidade de nutrientes, é importante a incorporação de calcário na maior profundidade possível (Lustosa Filho et al., 2021). Essa operação, assim como qualquer outra que promova o revolvimento do solo durante o seu preparo, implicará soerguimento dos fragmentos de petroplintitas, os quais deverão ser removidos das áreas que serão mecanizadas.

Assim, quanto maior o tamanho dos fragmentos de petroplintita (calhaus, 2-20 cm, e matações, >20 cm), maior será o custo com as operações de catação (Figura 12a). De forma geral, todo preparo de Plintossolos Pétricos levanta petroplintitas em seu preparo, mas aqueles em que predominam fragmentos menores, como cascalho, podem ser manejados com coletas manuais, menor número de operações e menor custo. Por outro lado, Plintossolos Pétricos com abundância de fragmentos maiores demandam catação de forma mecanizada – com implementos específicos para essa finalidade – e um maior número de operações para viabilizar o cultivo de grãos. Em alguns casos, o excesso de fragmentos grandes soerguidos pode inviabilizar a área para cultivo intensivo mecanizado. Nesse caso, o uso com

pastagem perene é mais adequado.

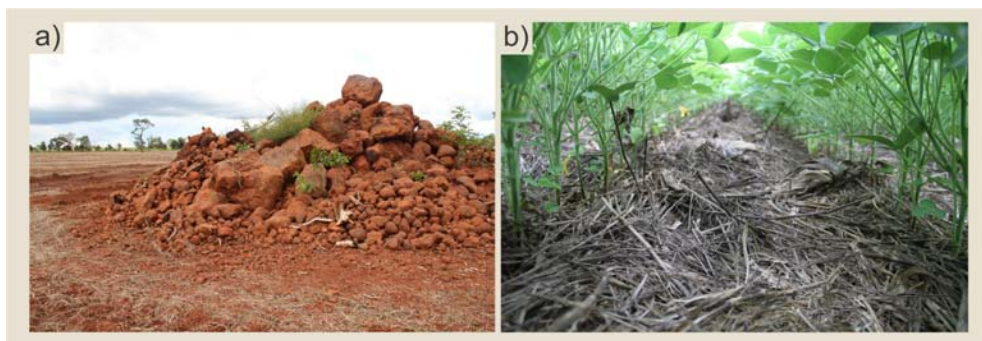


Figura 12. Abertura de áreas de Plintossolo Pétrico concrecionário, etapa de catação mecanizada e formação de montes de pedras de tamanho grande, Cristalândia – TO (a); soja semeada em palha de braquiária ruziziensis em Plintossolo Pétrico Concrecionário, Paraíso do Tocantins – TO (b), com produtividade de 85 sacos/ha (safra 2020/2021). Fonte: Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida.

A proporção de fragmentos grossos vs terra fina de um Plintossolo Pétrico é importante, pois é na fração terra fina que será armazenada água, matéria orgânica e nutrientes. Segundo Almeida et al. (2023), a granulometria variou de 57% de fração grossa e 47% de terra fina até 90% de fração grossa e 10% de terra fina em um pequeno horizonte amostral de Plintossolos Pétricos do estado do Tocantins.

Solos com maior porcentagem de pedregosidade nos horizontes superficiais, serão mais suscetíveis ao estresse hídrico durante veranicos ou em anos ruins de chuvas, seja pela distribuição ou por menor volume hídrico, com maior limitação aos cultivos de safrinha, época com menor quantidade de chuvas durante os cultivos. Essas áreas têm maior aptidão para cultivo de apenas uma safra de grãos, geralmente soja, com produção de forragens para pecuária durante a entressafra. O uso de capins nessas áreas com alta porcentagem de cascalho é importante para formação de palha, a fim de reduzir a maior dificuldade de germinação, emergência e formação de estande de plantas do cultivo de grãos da safra seguinte.

Por último, conhecer a textura da terra fina é importante, uma vez que Plintossolos Pétricos mais argilosos garantem maior resiliência em períodos de deficiência hídrica e apresentam maior potencial de cultivo em safrinha (ainda que com calendário mais restrito em relação a solos sem pedregosidade). Segundo Almeida et al. (2023), a textura da terra fina é bastante variada em Plintossolos Pétricos Concrecionários. Em dois solos com proporção semelhante de fração grossa-terra fina, a terra fina de um deles é composta por 18% de argila e 78% de areia, e a do outro por 53% de argila e 38% de areia.

Conhecer as potencialidades de uso agrícola dos tipos de Plintossolos Pétricos é fundamental para melhor decisão de manejo e uso das áreas. Com estas informações é possível definir: quais áreas apresentam maior potencial para cultivo intensivo de safra e safrinha e, portanto, devem ser plantadas primeiro; quais áreas devem ser cultivadas apenas com uma safra de grãos atrelada à produção de carne em sistemas integrados; quais áreas devem ser mantidas como pastagens perenes com o mínimo de revolvimento de solo; e quais não devem ser utilizadas para qualquer uso agropecuário, devendo ser preservadas e destinadas à aquisição de créditos de carbono.

De uma forma ou de outra, a adoção de sistemas de cultivo sem revolvimento do solo, com rotação de culturas e aporte de biomassa para produção de palha é fundamental para reduzir a evaporação de água, evitar o aquecimento superficial do solo e potencializar a diversidade biológica, além de promover a ciclagem de nutrientes e o aumento da matéria orgânica e, assim, estabelecer condições para superação das dificuldades e fragilidades inerentes aos Plintossolos Pétricos e às condições climáticas da região de fronteira agrícola.

8 Considerações finais

As expressivas áreas de Plintossolos Pétricos do Tocantins revelam divergências morfológicas e pedogênicas entre os solos localizados nas bacias do rio Tocantins e do rio Araguaia, refletindo diferentes contextos de evolução regional. Ao passo que os Plintossolos Pétricos Concrecionários são abundantes em ambas as bacias – ora litomórficos, ora pedomórficos – os Plintossolos Pétricos Litoplínticos da bacia do rio Araguaia exibem horizontes com petroplintita espessos e contínuos. Diante desses cenários, conhecer os tipos de Plintossolos Pétricos – sua posição na paisagem, profundidade efetiva, suscetibilidade ao encharcamento, proporção de pedregosidade vs terra fina, textura da terra fina e o tamanho do material grosso que constitui esses solos – é fundamental para o discernimento do seu maior ou menor potencial produtivo.

Com este conhecimento a respeito dos Plintossolos Pétricos é possível uma tomada de decisão assertiva em relação a quais áreas devem ser destinadas à preservação ambiental ou ao uso com pastagens, cultivos integrados de grãos e pastagens ou, até mesmo, cultivos intensivos de safra e safrinha.

De qualquer forma, o caminho para o uso sustentável destes solos, desde os mais complexos até os de maior potencial produtivo, sempre permeará o uso de sistemas de produção com aporte de biomassa para promover a saúde destes solos e superar as dificuldades de manejo inerentes aos Plintossolos Pétricos e ao clima tropical úmido da região de fronteira agrícola.

9 Referências

Abreu FAM. Estratigrafia e evolução estrutural do segmento setentrional da faixa de dobramentos Paraguai – Araguaia. Dissertação (Mestrado) - NCGG, Universidade Federal do Pará. 90p. 1978.

Ab'Saber AN. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 134p. 2003.

Aleva GJJ. On weathering and denudation of humid tropical interfluves and their triple planation surfaces. *Geologie en Mijnbouw*. 1983.

Almeida REM, Dias TSS, Uhlmann A, Ramos MR, Evangelista BA, Costa RV, Simon J, Vidal-Torrado P. Uso Agrícola dos Plintossolos Pétricos do oeste do estado do Tocantins. In: Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – Goiás e Tocantins, p. 137-162. 2023.

Almeida REM, Souza HAS, Evangelista BA, Uhlmann A, Ramos MR, Sagrilo E, Dias TSS, Oliveira LRSP, Costa NR. Challenges to Managing Soil Health in the Newest Agricultural Frontier in Brazil. In: Mendes IC, Cherubin MR. (Eds). *Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil*. 2024. <https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch11>.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728. 2013.

Büdel J. *Climatic Geomorphology*. New Jersey: Princeton University Press. 1992.

Dantas ME, Shinzato E, Carvalho Filho A, Lumbreras JF, Teixeira WG, Rocha MG, Machado MF. Origem das paisagens do estado do Tocantins. In: Rocha MG. (Org.). *Geodiversidade do Estado do Tocantins*. Goiânia, CPRM, 47-84. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. 2019.

de Campos DS, Camêlo DL, Silva AC, Santos M, Vidal-Torrado P. Relationships between morphological facies and the evolutionary processes of petroplinthites in the Southern Espinhaço Range (SE-Brazil). *Catena*, v. 243, 108153. 2024.

Frasca AAS, Araújo VA. Palmas, Folha SD.22-Z-B, Estado do Tocantins. Brasília: CPRM. 52 p.il. + 2 mapas; escala 1:250.000. Projeto hidrogeologia no Tocantins; Programa levantamentos hidrológicos Básicos do Brasil - PLGB. 2001.

Hasui Y, Abreu FAM, Rangel JMR. Estratigrafia da Faixa de Dobramentos Paraguai Araguaia no centro norte do Brasil. Bol. Inst. Geoc. - USP, v.8, p. 107-118. 1977.

IBGE. Mapa Índice Digital. 5ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 21p. 2021.

King LC. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 147-265. 1956.

Lustosa Filho JF, Souza HA, Almeida REM, Leite LFC. Conservação e manejo da fertilidade do solo no Cerrado do Matopiba. In: Iwata BF, Rocha IL. (Eds.), Cerrado: capital natural e serviços ambientais (pp. 75–97). Paco Editorial. 2021.

Milani EJ, Santos CF, Castro AHA. Geologia e sistemas petrolíferos das bacias sedimentares brasileiras. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 9, p. 16 -21. 2003.

Millot G. Geology of clays - weathering, sedimentology, geochemistry. Springer Verlag, Berlin, 429p. 1972.

Neves MLS, Teixeira WG, Reis AMH, Shinzato E, Monteiro JEBA. Estimativas da água disponível no solo por meio de equação de pedotransferência e de valores tabelados por classes de solo na área do roteiro da RCC de Goiás e Tocantins. In: Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – Goiás e Tocantins. 2023.

Oliveira VA, Lumbreiras JF, Coelho MR, Santos GG, Severiano EC, Collier LS, Rios AJW, Almeida REM, Uhlmann A, Ramos MR, Calderano SB. Solos da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Goiás e Tocantins). In: Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – Goiás e Tocantins. 2023.

Ribeiro JF, Walter BMT. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: Sano SM, Almeida ASP. (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina. EMBRAPA-CPAC, p. 89-166. 1998.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª Edição, EMBRAPA, Brasília. 2018.

Tardy Y. Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Masson, Paris, 461 p. 1993.



Solos e paisagens da região Norte de Rondônia

*Luís Antônio Coutrim dos Santos¹; Alan Ferreira Leite de Lima²;
Milton César Costa Campos³.*

¹Universidade do Estado do Amazonas

²Universidade Federal do Amazonas

³Universidade Federal da Paraíba

1 Introdução

O bioma Amazônia possui a maior floresta tropical do planeta, estendendo-se por oito países, por cerca de 6,7 milhões de km² ao longo da bacia hidrográfica do rio Amazonas e seus afluentes. Esse bioma corresponde a cerca de 5% da superfície terrestre e 40% da América do Sul, sendo 60% no território brasileiro (IBAM, 2015). No Brasil, esse bioma se estende por nove estados – Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão – ocupando uma área de aproximadamente 4,2 milhões de km², o que corresponde a 49,3% do território nacional (IBAM, 2015).

O estado de Rondônia, especificamente, localiza-se na porção Oeste da região Norte do Brasil. Esse estado apresenta diversificados padrões geomorfológicos, caracterizados por extensos domínios de terrenos, em grande parte embasados por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares de diversas idades, resultantes de longos e elaborados períodos de aplainamento. Ao longo do estado de Rondônia, ocorre a formação de um conjunto de terrenos dissecados em relevos residuais, modelados sobre o embasamento ígneo-metamórfico (Paleoproterozoico a Mesoproterozoico), planaltos elevados em coberturas sedimentares (Mesoproterozoico a Cretáceo) e zonas deposicionais formadas no período Quaternário (Pleistoceno e Holoceno) localizadas nos dois eixos de drenagem principais no estado: o vale do rio Madeira e o amplo vale do rio Guaporé (Dantas e Adamy, 2010).

Na porção mais ao Norte do estado de Rondônia, de acordo com Lima et al. (2023) ocorrem predominantemente Latossolos altamente intemperizados, com elevados teores de areia e alumínio trocável associados a áreas planas e bem drenadas. Já os Plintossolos, moderadamente drenados e com altos teores de cascalhos, ocorrem localizados em ambientes próximo aos rios, em áreas onde o relevo é mais ondulado.

Assim, o estado de Rondônia apresenta uma grande diversidade de solos, dos quais, a maior parte possui baixa fertilidade natural, elevada acidez, presença de alumínio trocável, baixa disponibilidade de fósforo e bases trocáveis (Schlindwein et al., 2012).

O objetivo deste capítulo é abordar, de forma detalhada, os solos desenvolvidos no Norte do estado de Rondônia, a relação solo-paisagem, as principais características físicas e químicas desses solos, suas feições morfológicas, além de suas limitações para o uso agrícola e seu potencial de uso das terras.

2 Caracterização ambiental

A região está localizada no Norte do estado de Rondônia (Figura 1). O clima pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), segundo classificação de Köppen, apresentando uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade anual varia de 2.500 a 2.800 mm, e a temperatura anual média está entre 24 °C e 26 °C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% e 90%, na época chuvosa, e entre 60 e 70% na época seca (Alvares et al., 2013).

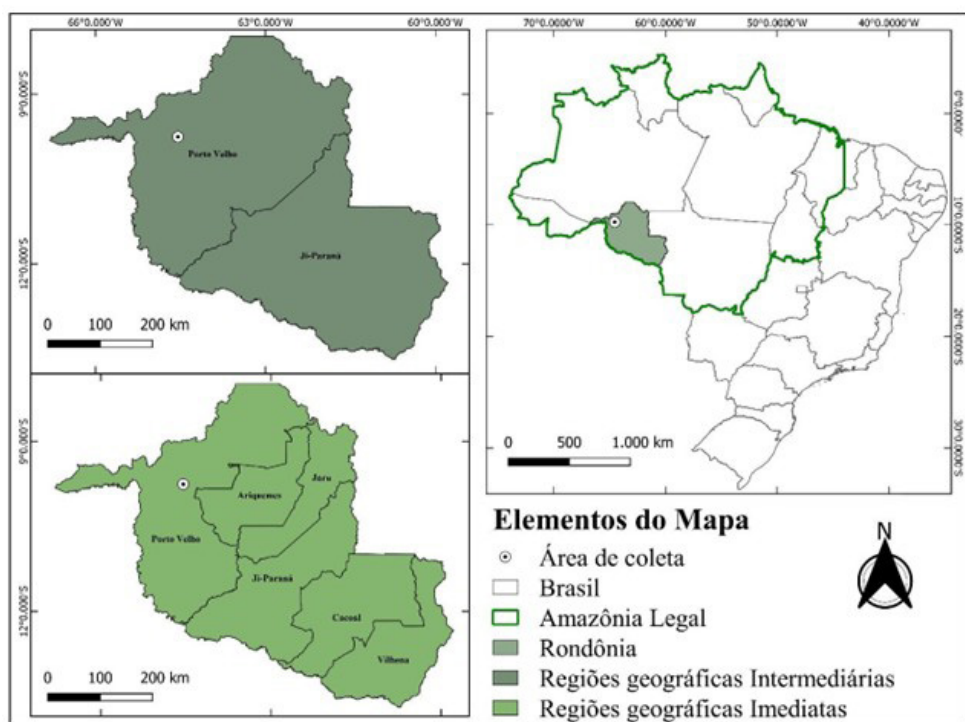


Figura 1. Mapa representando a Amazônia Legal e as regiões geográficas do estado de Rondônia. Fonte: Alan Ferreira Leite de Lima.

O estado de Rondônia apresenta uma diversidade de vegetação, com destaque para as tipologias de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Florestas Aluviais, Florestas Estacionais, Cerrado, Campinas, Campinaranas e vegetação com influência fluvial.

A região de estudo é coberta por Floresta Ombrófila Densa (Figura 2), consti-



Figura 2. Floresta Ombrófila Densa característica da região de estudo. Fonte: Dos autores.

tuída por árvores adensadas e multiestratificadas de 25 a 30 m de altura (Perigolo et al., 2017), ocupando uma área de aproximadamente 9,3 mil km², que corres-

pondem a aproximadamente 4% do território do estado (Planafloro, 1998). Essas florestas apresentam como principal característica o dossel fechado, que não permite a passagem de grande quantidade de luz para o seu interior, favorecendo, dessa forma, o estabelecimento de um sub-bosque pouco denso na maior parte do espaço (Martins e Cavararo, 2012).

Em relação aos solos (Figura 3), predominam as classes dos Argissolos e dos Latossolos, com o primeiro ocupando uma área de aproximadamente 40%, e o segundo abrangendo aproximadamente 37% do território do estado de Rondônia (Shinzato et al., 2010).

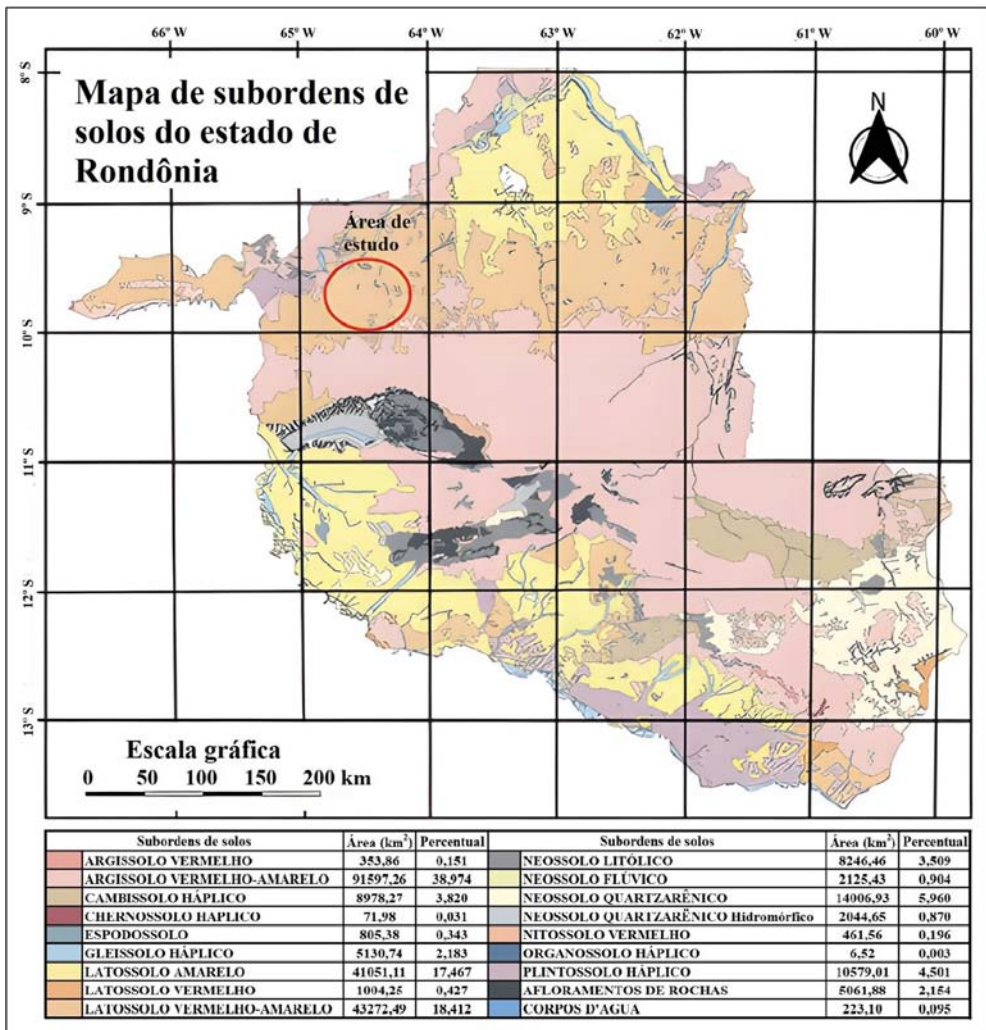


Figura 3. Mapa simplificado de solos do estado de Rondônia. Fonte: Adaptado de Adamy (2010).

De acordo com os autores, os Argissolos ocupam preferencialmente as superfícies aplainadas do Sul da Amazônia e os planaltos dissecados do Sul da Amazônia, bem como o Planalto e a Chapada dos Parecis. Por sua vez, os Latossolos ocupam principalmente as unidades geomorfológicas Tabuleiros da Amazônia Centro Ocidental, superfícies aplainadas do Sul da Amazônia, Depressão do rio Guaporé e Planalto e Chapada dos Parecis. Na sequência, os Plintossolos ocupam cerca de 5% do território, ocorrendo principalmente na planície fluvial dos rios Madeira-Mamoré-Guaporé. Cambissolos (4%), Gleissolos (2,2%) e outros solos completam o mapa pedológico do estado de Rondônia.

Este capítulo aborda solos desenvolvidos no distrito União Bandeirantes, na região de Porto Velho (Figuras 1 e 4). A área de estudo encontra-se sobre os Tabuleiros da Depressão Amazônica, com relevo regional suave ondulado e altitude

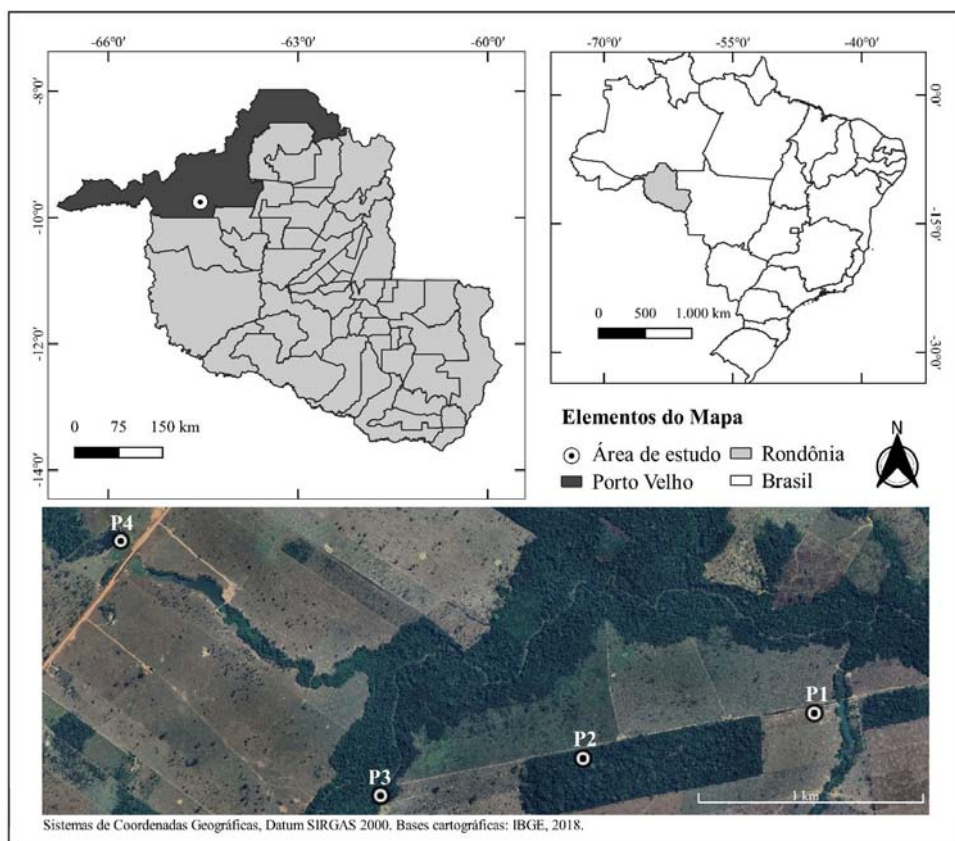


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo dos solos em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia. P1 e P2: Latossolo Amarelo Distrófico típico; P3: Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico; P4: Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico. Fonte: Adaptado de Lima et al. (2023).

variando de 100 a 200 m. Os solos encontrados nos pontos P1 a P3 (Figura 4) são formados no Cenozoico, período Terciário-Quaternário, sendo desenvolvidos a partir de coberturas sedimentares indiferenciadas, associadas a ambientes de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lagos, constituídas por sedimentos cuja granulometria varia de cascalho a argila, com laterização significativa.

O solo de P4 é oriundo do cristalino (Proterozoico) e formado no complexo gnáissico-migmatítico Jarú. É caracterizado por um notável aleitamento tectônico dos litotipos em condições metamórficas de alto a médio grau, envolvendo ortognaisses graníticos, gnaisses bandados, gnaisses paraderivados, anfibolitos, granulitos máficos, granitos de anatexia, entre outros (Adamy, 2010).

3 Relação solo-paisagem

A relação solo-paisagem permite estudar os efeitos dos atributos topográficos nas classes de solos, uma vez que, as variáveis do solo são influenciadas pela interação entre os fatores pedogenéticos, o que condiciona diferentes processos de formação dos solos (Jenny, 1941), dando origem aos diferentes solos. O relevo e o clima são dois fatores de formação que podem contribuir para o maior desenvolvimento pedogenético dos solos. Assim, o clima é expresso pelas precipitações pluviométricas, temperatura e umidade do ar, que afetam o processo de intemperismo do solo e a evolução do perfil (Milne, 1947; Pinheiro Junior et al., 2019). Por sua vez, o relevo é expresso pelo grau de inclinação, que afeta a temperatura do solo, o conteúdo de água, o nível do lençol freático e a intensidade dos processos de remoção e deposição de sedimentos (Wilson e Gallant, 2000; Chagas et al., 2013).

Diante da variação de relevo, foram selecionados quatro solos de ocorrência característica no Norte do estado de Rondônia, sendo observados dois Latossolos Amarelos, um Latossolo Vermelho e um Plintossolo Pétrico, dispostos em diferentes porções da paisagem (Figura 5), conforme a seguir:

P1: Latossolo Amarelo Distrófico típico, desenvolvido em relevo suave ondulado, no terço médio da paisagem, em ambiente de pastagem.

P2: Latossolo Amarelo Distrófico típico, desenvolvido em relevo plano, no topo da paisagem, em ambiente de floresta.

P3: Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico, desenvolvido em relevo ondulado, no terço médio da paisagem, em ambiente de floresta.

P4: Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico, desenvolvido em relevo suave ondulado, no terço inferior da paisagem, em ambiente de pastagem.

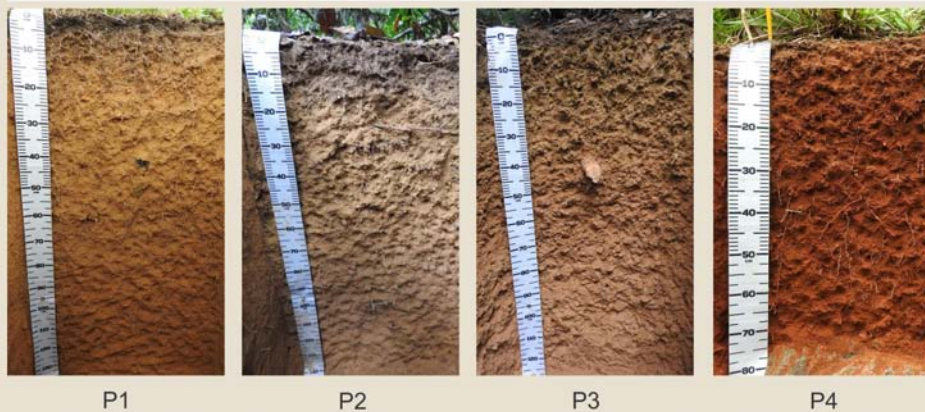
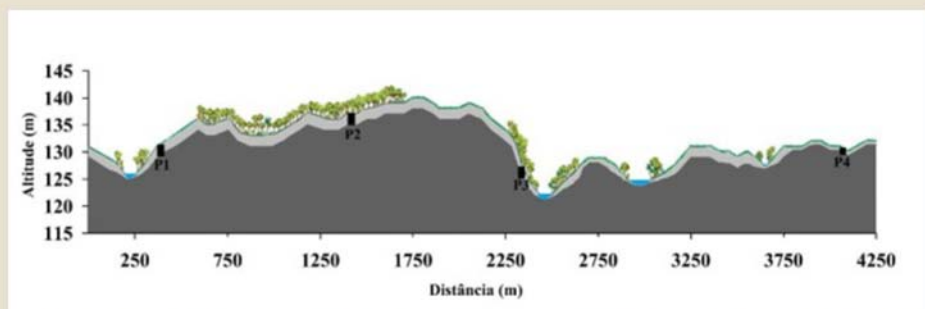


Figura 5. Perfil altimétrico esquemático mostrando a vegetação, o relevo e o local de coleta dos perfis de solos em uma catena sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, RO. Fonte: Adaptado de Lima et al. (2023).

4 Dados pedológicos

4.1 Latossolos Amarelos Distróficos típicos

Estes solos estão localizados no distrito de União Bandeirantes, Porto Velho-RO, situados em relevo suave ondulado, em posição de terço médio (Figura 6), a uma altitude de 128 metros, apresentando boa drenagem e sob vegetação de pastagem *Brachiaria Brizantha*.

Apresentam sequência de horizontes A-BA-Bw, textura argiloarenosa, sendo dominada pela fração areia, com valores superiores a 570 g kg^{-1} (Quadro 1). A cor varia de bruno-amarelada-escuro, no horizonte superficial, a bruno-amarelada no horizonte subsuperficial, refletindo a coloração mais escura proporcionada pela maior presença de matéria orgânica.

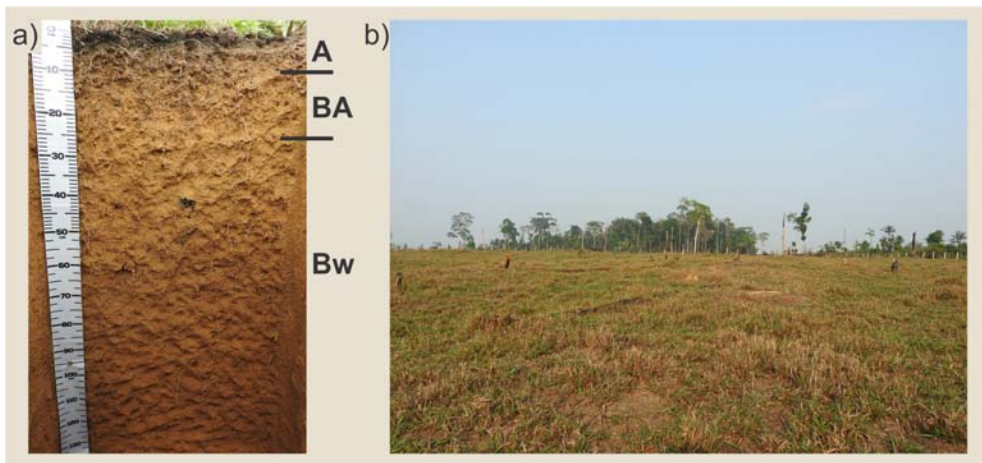


Figura 6. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Latossolo Amarelo Distrófico típico no Norte de Rondônia. Fonte: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

Quadro 1. Dados físicos e químicos do Latossolo Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Lima et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Grau de floculação (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila			
A	0-11	657	28	315	18	1,44	0,09
BA	11-25	601	18	381	18	1,56	0,05
Bw1	25-50	574	40	386	91	1,47	0,10
Bw2	50-90	556	36	408	100	1,41	0,09
Bw3	90-125	557	39	404	100	1,40	0,10
Bw4	125-150+	566	30	404	100	1,36	0,07

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A	5,53	1,06	0,20	0,28	0,02	0,57	3,60	5,16
BA	5,03	0,69	0,11	0,05	0,01	0,57	3,44	4,30
Bw1	4,81	0,32	0,05	0,09	nd	0,96	3,05	3,51
Bw2	4,63	0,29	0,05	0,02	nd	1,25	3,44	3,80
Bw3	4,76	0,31	0,04	0,02	nd	1,15	2,58	2,95
Bw4	4,87	0,31	0,05	nd	nd	0,81	1,88	2,24

Quadro 1. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	27	30	1,24	15,03
BA	40	20	0,55	10,86
Bw1	68	13	0,45	8,08
Bw2	78	9	0,48	6,19
Bw3	76	13	0,19	6,69
Bw4	69	16	0,19	6,32

Estes solos apresentam maiores valores de argila dispersa em água nos horizontes superficiais, normalmente valores iguais a zero e grau de floculação igual a 100%. Esse comportamento pode estar relacionado às características da argila e maior teor de matéria orgânica na superfície, que pode aumentar as cargas elétricas e diminuir a atividade de elementos responsáveis pela floculação das partículas (Guimarães et al., 2013). A relação silte/argila apresenta valores iguais ou inferiores a 0,1. Os valores de densidade do solo são superiores a 1,4 g cm⁻³ (Quadro 1).

Os valores de pH em água são inferiores a 5,6, evidenciando a natureza ácida dos solos da região. Os valores de soma de bases são inferiores a 2 cmol_c kg⁻¹, resultando em uma baixa saturação por base (inferior a 30%), o que pode ser justificado pelo intenso intemperismo e lixiviação dos solos que remove as bases trocáveis, contribuindo para o aumento da concentração de hidrogênio e alumínio no solo, o que resulta normalmente em solos com caráter alumínico, definidos pela alta saturação por alumínio trocável (Quadro 1).

4.2 Latossolos Amarelos Distróficos típicos

São solos desenvolvidos sob Floresta Tropical Ombrófila Densa, em relevo plano, bem drenado e localizado no topo da paisagem, apresentando altitude de 137 m e profundidade efetiva superior a 1,5 m.

Apresentam sequência de horizonte A-BA-Bw (Figura 7). A textura varia de franco-argiloarenosa a argiloarenosa, com dominância da fração areia, que apresenta valores superiores a 500 g kg⁻¹ e baixos teores de silte em todo o perfil. Apresenta baixa relação silte/argila (inferior a 0,12) e grau de floculação de 100% a partir do horizonte Bw2 (Quadro 2).

A cor varia de bruno-amarelado-escuro, nos horizontes superficiais, a bruno-amarelado nos horizontes subsuperficiais, expressando coloração típica

de solos com predominância de goethita em ambientes úmidos e com baixos teores de ferro. Apresentam estrutura em forma de blocos angulares e subangulares e grau de desenvolvimento variando de moderado a forte.

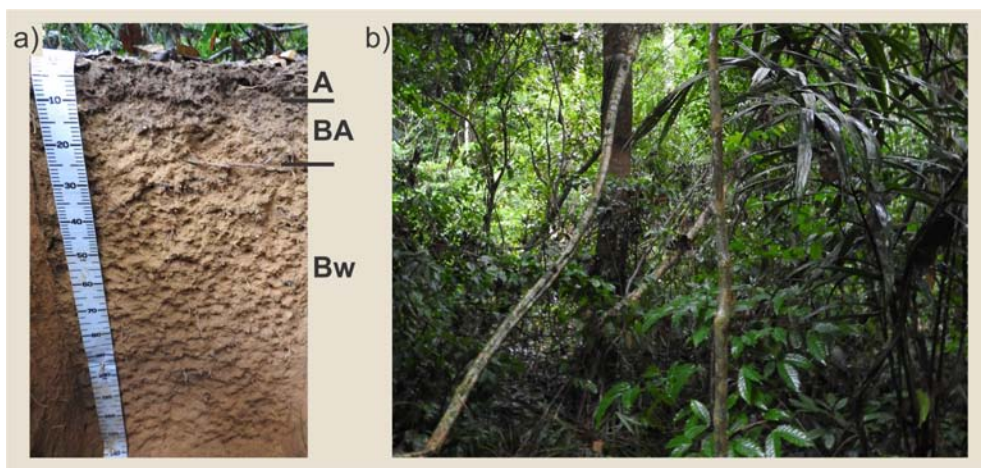


Figura 7. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Latossolo Amarelo Distrófico típico no Norte de Rondônia. Fonte: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

São solos de baixíssima fertilidade natural e que apresentam baixos valores de pH (inferior a 4,6), de bases trocáveis, de soma de bases (inferior a $0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e, consequentemente, baixos valores de saturação por bases. A saturação por bases, com valores inferiores a 10%, reflete a baixa quantidade de nutrientes no material de origem do solo em cátions básicos e a sua limitada fertilidade química. Os teores de alumínio são elevados, apresentando, dessa forma, altos valores de saturação por alumínio (superior a 75%). Isso mostra que o complexo sortivo do solo é dominado por alumínio em decorrência dos baixos teores de bases trocáveis. Os teores de carbono orgânico são superiores nos horizontes superficiais ($16,6 \text{ g kg}^{-1}$), com rápido decréscimo nos horizontes subjacentes.

4.3 Plintossolos Pétricos Concrecionários êndicos

São solos desenvolvidos em relevo ondulado, localizados no terço médio da paisagem, em altitude de 128 metros, com superfície pedregosa, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa, com drenagem moderada e erosão laminar ligeira.

Apresentam textura muito argilosa, com dominância da fração argila em todos os seus horizontes (Figura 8). São solos com sequência de horizonte A-BA-Bcf. Possuem petroplintitas em todos os horizontes, com destaque para o horizonte Bcf4, que possui grandes blocos desse material. Apresentam solo profundo com

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Latossolo Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Lima et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Grau de floculação (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila			
A	0-10	644	34	322	20	1,16	0,11
BA	10-25	568	34	398	14	1,45	0,09
Bw1	25-45	528	25	447	13	1,37	0,06
Bw2	45-71	520	23	457	100	1,47	0,05
Bw3	71-95	530	28	442	100	1,38	0,06
Bw4	95-122	529	48	423	100	1,39	0,11
Bw5	122-150+	483	46	471	100	1,43	0,10

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A	4,03	0,29	0,12	0,08	-	1,82	7,04	7,53
BA	4,22	0,23	0,06	0,02	-	1,72	5,40	5,71
Bw1	4,31	0,27	0,06	0,01	0,01	1,63	4,38	4,73
Bw2	4,51	0,27	0,06	0,01	-	1,44	3,76	4,10
Bw3	4,58	0,25	0,04	-	-	1,39	3,37	3,66
Bw4	4,41	0,25	0,04	-	-	1,39	3,05	3,34
Bw5	4,49	0,25	0,04	-	-	1,44	2,66	2,95

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	79	7	3,32	16,67
BA	85	5	0,95	12,44
Bw1	82	7	0,52	11,37
Bw2	81	8	0,45	9,35
Bw3	83	8	0,19	8,84
Bw4	83	9	0,09	7,33
Bw5	83	10	0,09	5,56

grande quantidade da fração cascalho, com valores acima de 50% a partir do horizonte Bcf1.

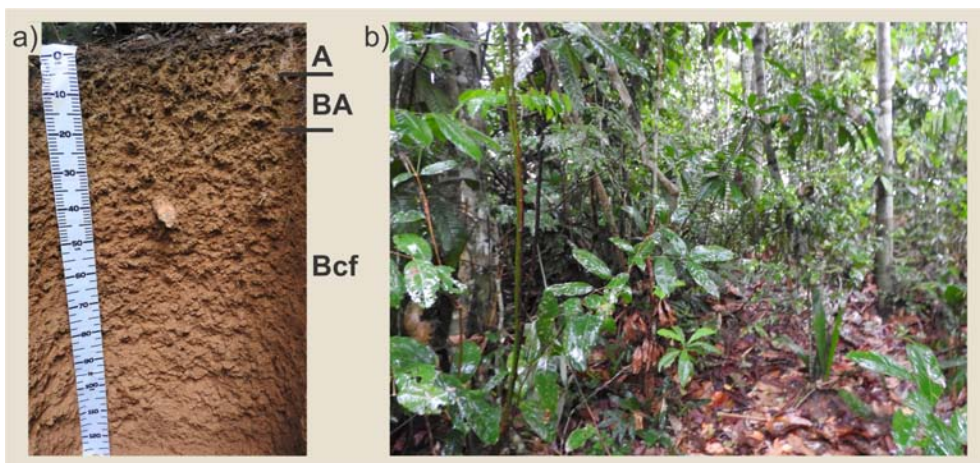


Figura 8. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico no Norte de Rondônia. Fonte: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

São solos de baixa fertilidade natural, apresentando pH em água extremamente ácido no horizonte A (3,8) e fortemente ácido nos demais horizontes ($<5,0$) (Santos et al., 2018), com baixos valores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, os quais podem ser justificados pela natureza do material de origem, que não possui quantidades significativas desses elementos em sua composição, e pelo intenso intemperismo característico dos solos do bioma Amazônia. Consequentemente, os solos apresentam valores extremamente baixos de saturação por bases e valores elevados de saturação por alumínio ($>65\%$) (Quadro 3).

O horizonte A (superficial) apresenta valores mais elevados de carbono orgânico do que os demais solos apresentados neste capítulo, o que pode estar associado a uma maior deposição de serapilheira e, consequentemente, ao aumento do carbono orgânico na superfície do solo, com os valores sofrendo decréscimo em subsuperfície. De acordo com Mafra et al. (2008), a adição de material orgânico proveniente principalmente da serapilheira de florestas é responsável pelo acúmulo de carbono na camada superficial do solo, à medida que vai sendo humificada. A deposição de serapilheira proveniente da floresta justifica também os teores mais elevados de fósforo ($5,4 \text{ mg kg}^{-1}$) no horizonte A; todavia, os valores podem ser considerados baixos quando comparados com os de outros solos de boa fertilidade natural.

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico. Dados extraídos de Lima et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Grau de floculação (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila			
A	0-5	405	107	488	16	0,90	0,22
BA	5-17	251	133	616	52	-	0,22
Bcf1	17-42	235	89	676	100	-	0,13
Bcf2	42-69	270	93	637	100	-	0,15
Bcf3	69-102	278	74	648	100	-	0,11
Bcf4	102-150+	301	63	636	100	-	0,10

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	CTC _{pH7}
A	3,80	0,31	0,12	0,15	0,01	2,68	11,58	12,17
BA	4,53	0,23	0,38	0,04	-	1,39	5,09	5,74
Bcf1	4,68	0,22	0,06	0,02	-	1,39	3,99	4,29
Bcf2	4,81	0,22	0,05	0,01	-	0,91	2,97	3,25
Bcf3	4,99	0,25	0,04	-	-	0,86	3,13	3,42
Bcf4	5,01	0,20	0,05	-	-	0,96	2,19	2,44

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	82	5	5,48	33,09
BA	68	11	1,20	14,21
Bcf1	82	7	0,59	11,43
Bcf2	76	9	0,19	9,09
Bcf3	75	8	0,16	7,52
Bcf4	79	10	0,23	7,07

4.4 Latossolos Vermelhos Distróficos cambissólicos

São solos formados em relevo suave ondulado, no terço inferior aplainado da paisagem, com altitude de 132 metros, em ambiente ligeiramente rochoso e pedregoso (Figura 9).

São bem drenados e de textura argilosa (superior a 400 g kg⁻¹ de argila), apre-

sentando uma distribuição bem uniforme de argila ao longo do perfil. Apresentam relação silte/argila inferior a 0,4, típica dos Latossolos e que pode ser usada como característica acessória para distinguir horizontes B latossólicos de B incipientes, quando eles apresentarem características morfológicas semelhantes (Santos et al., 2018).

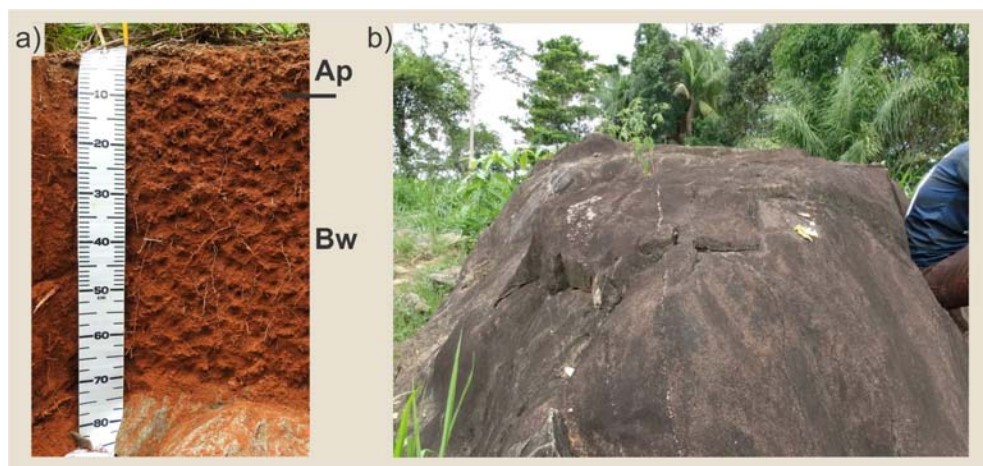


Figura 9. Perfil (a) e paisagem de ocorrência (b) do Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico no Norte de Rondônia. Fonte: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

São solos pouco profundos devido à proximidade do material de origem, que ocorre próximo à superfície com profundidade irregular ao longo de toda a área, com afloramentos rochosos situados próximos ao perfil. O solo apresenta coloração bruno-avermelhada-escura em todos os horizontes. A cor avermelhada observada no Latossolo Vermelho é decorrente do material de origem, que apresenta maiores teores de minerais ferromagnesianos, permitindo a formação da hematita (óxido de ferro).

O pH em água é moderadamente ácido em todos os seus horizontes (Santos et al., 2018). São solos que possuem baixa fertilidade química, condicionada pela grande remoção de bases trocáveis ao longo do perfil. O horizonte Ap tem saturação por base mais elevada (45%) do que a dos demais horizontes, todavia, apresenta caráter distrófico (Quadro 4). São solos sem teores elevados de alumínio, conferindo uma saturação por alumínio inferior a 35%, e com baixos teores de fósforo e de carbono orgânico ao longo de todo o perfil.

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico. Dados extraídos de Lima et al. (2023).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Grau de floculação (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila			
Ap	0-10	447	145	408	36	1,26	0,36
Bw1	10-28	387	101	512	100	1,14	0,20
Bw2	28-50	391	109	500	100	1,17	0,22
Bw3	50-72+	377	131	492	100	1,14	0,27

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	H+Al	CTC _{pH7}
Ap	5,77	2,27	0,86	0,30	0,01	0,24	4,15	7,59
Bw1	5,20	0,51	0,46	0,07	0,01	0,53	4,85	5,90
Bw2	5,31	0,28	0,54	0,06	0,01	0,48	4,07	4,96
Bw3	5,34	0,23	0,52	0,07	0,01	0,24	3,44	4,27

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Ap	6,52	45,32	0,91	19,07
Bw1	33,54	17,80	0,55	12,19
Bw2	35,04	17,94	0,70	9,85
Bw3	22,43	19,44	0,55	10,04

5 Feições morfológicas típicas

Entre as feições morfológicas, destacam-se a presença de plintitas e de petroplintitas em diferentes tamanhos e a sua porcentagem de ocorrência nos horizontes concrecionários do Plintossolo Pétrico.

As plintitas são corpos distintos de materiais ricos em óxidos de ferro e podem ser diferenciadas de nódulos ou concreções ferruginosas consolidadas (petroplintita), que são extremamente firmes ou extremamente duras (Santos et al., 2018). Sua formação está relacionada com segregação, mobilização, transporte e concentração de íons e compostos de Fe (Anjos et al., 2007).

Por sua vez, a petroplintita (Figura 10) é formada a partir da plintita que, sob efeito de ciclos repetitivos de umedecimento e secagem, sofre consolidação vigo-

rosa, dando lugar à formação de nódulos ou concreções ferruginosas de dimensões e formas variadas (Santos et al., 2018).

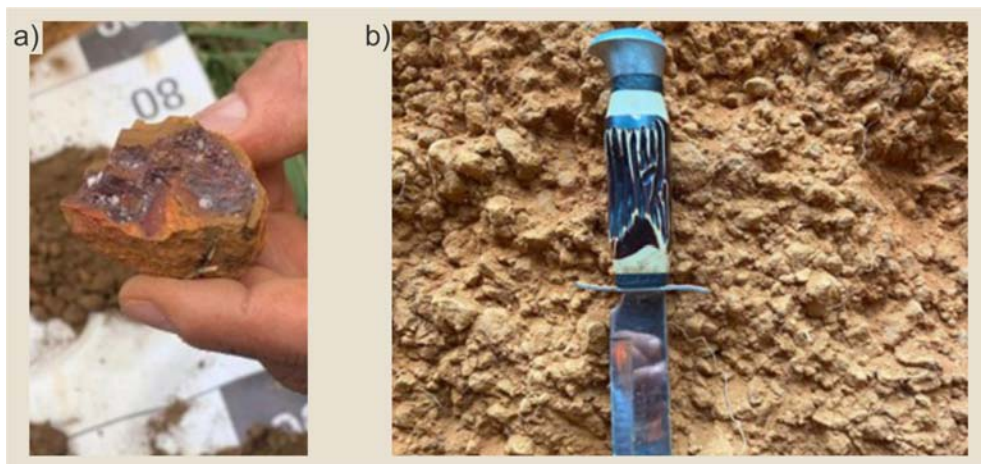


Figura 10. Detalhe da ocorrência de petroplintitas (a) em Plintossolos (b) da região apresentada. Fonte: Dos autores.

6 Limitações de uso agrícola

A principal limitação ao uso agrícola dos solos tratados aqui é a baixa fertilidade natural. Todos os solos apresentam baixos teores de bases trocáveis (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e são classificados como distróficos. Todavia, a fertilidade química pode ser facilmente corrigida com uso de corretivos e fertilizantes (calagem e a adubação). Além dos baixos teores de bases trocáveis, o Latossolo Amarelo e o Plintossolo Pétrico também apresentam altos teores de alumínio trocável e caráter aluminico em todos os seus horizontes, necessitando também de doses elevadas de calcário.

Os Plintossolos Pétricos têm limitações referentes ao elevado volume das frações grossas (petroplintitas) ao longo do perfil. Os solos foram classificados com textura cascalhenta (até 17 cm) e muito cascalhenta (a partir dos 17 cm), o que diminui o volume ocupado por terra fina (areia, silte e argila). A alta porcentagem de frações grossas (tamanho de cascalho ou superior) pode ser extremamente limitante ao uso agrícola dos solos, principalmente ao uso de implementos agrícolas. Além disso, elevados volumes de petroplintitas reduzem a capacidade de retenção de água no solo e promovem restrição física à penetração de raízes.

Outra limitação desses solos que pode ser apontada é o relevo ondulado (Fi-

gura 11a), que pode limitar a mecanização agrícola e tornar os solos susceptíveis à erosão.

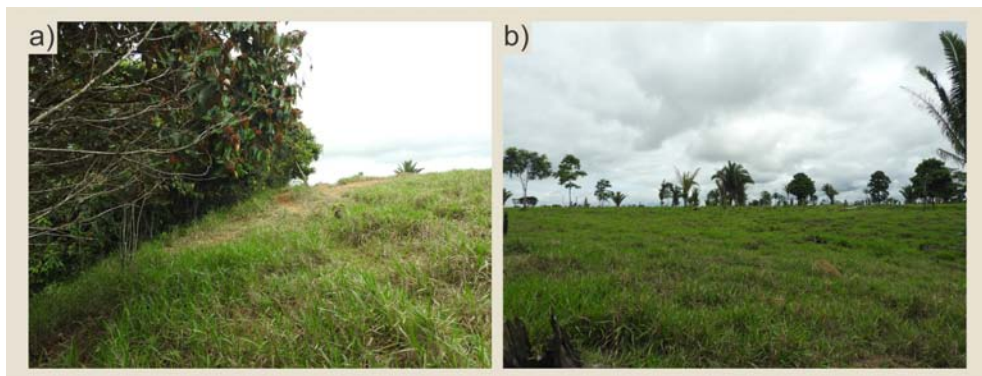


Figura 11. Paisagem de um Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico em terreno ondulado (a) e plano (b) no Norte de Rondônia. Fonte: Dos autores.

Os solos da região geralmente são utilizados para a criação de gado (bovinos). As pastagens normalmente são pouco desenvolvidas (Figura 11b) e mostram redução de produtividade nos primeiros anos de cultivo, principalmente por causa de sobrepastoreio, ausência ou reposição insuficiente de nutrientes e inadequação de espécies forrageiras para as condições edafoclimáticas locais (Neves Junior et al., 2013).

7 Potencial de uso das terras

Os atributos físicos e químicos dos solos indicam o seu potencial para o uso com pastagens cultivadas, atividade que é desenvolvida na região, e com agricultura em geral. Apesar de os solos apresentarem potencial agrícola, é importante enfatizar a necessidade de uso de fertilizantes e corretivos (adubação e calagem) para os solos aumentarem o seu potencial produtivo, com a produção de pastagens e agricultura de melhor qualidade.

Um das práticas comuns nesta parte da Amazônia é o uso do fogo na conversão de floresta em pastagem, ou seja, na renovação do pasto e eliminação de ectoparasitas. De acordo com Lima et al. (2023), o uso do fogo pode proporcionar o aumento do pH e dos valores de bases trocáveis, reduzindo os teores de alumínio trocável e a acidez potencial em um primeiro momento, porém, induz perdas de fósforo e carbono orgânico no solo, bem como perdas de nutrientes

por erosão hídrica. Nestes ambientes, é necessário estabelecer zonas específicas de manejo, mais ou menos intensivas, para maior eficiência no uso dos recursos naturais, na redução do impacto da agricultura no ambiente e na otimização dos custos econômicos.

Entre as classes de solos aqui estudadas, os Latossolos Amarelos são aqueles que apresentam melhor potencial para o cultivo agrícola por não apresentarem relevo limitante à mecanização e terem menor susceptibilidade aos processos erosivos. Os demais solos podem ser cultivados somente com a adoção de práticas para o controle dos processos erosivos do solo, voltadas para a contenção do escoamento, facilitação da infiltração, diminuindo a perda de solos. Dentre essas práticas, recomenda-se preparar o solo em contorno transversalmente no sentido da declividade, fazer a semeadura em nível e utilizar plantas de cobertura. Em áreas onde a cobertura do solo não é suficiente para controlar a erosão, recomenda-se a construção de terraços.

8 Considerações finais

Os solos típicos do Norte de Rondônia, em geral, são aqueles com baixa fertilidade natural e que apresentam limitações no fornecimento adequado de nutrientes para as plantas. Esses solos podem ser corrigidos por meio da calagem e adubação. O uso dessas áreas para agricultura ou pecuária (pastagem) requer a adoção de práticas conservacionistas, especialmente de caráter vegetativo (rotação de culturas, pousio ou uso de plantas de cobertura) e de caráter mecânico (cultivo em contorno e construção de terraços de base larga), visando evitar as degradações física e química dos solos.

9 Referências

Adamy A. Geodiversidade do estado de Rondônia. CPRM: Porto Velho; 2010.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. 2013;22:711–28. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Anjos LHC, Pereira MG, Perez DV, Ramos DP. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. Rev Bras Cienc Solo. 2007;31:1035-44. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500020>.

Chagas CS, Fontana A, Carvalho Junior W, Caires SM. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. *Rev Bras Cienc Solo*. 2013;37:1441-53. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600002>.

Dantas M, & Adamy A. Compartimentação geomorfológica do estado de Rondônia. *Geodiversidade do Estado de Rondônia*. Porto Velho: CPRM. 2010.

Guimarães ST, Lima HN, Teixeira WG, Neves Junior AF, Silva FWR, Macedo RS, Souza KW. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do Rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. *Rev Bras Cienc Solo*. 2013;37:317-26. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200003>.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM. Caderno de estudo: bioma Amazônia e o desmatamento. IBAM, Rio de Janeiro: 2015.

Jenny H. *Factors of Soil Formation*, 1 ed, McGraw-Hill: New York; 1941.

Lima A, Campos M, Brito Filho EG, Pinheiro E, Santos L, Costa E, Silva D. Genesis and classification of soils over forest and pasture in a toposequence, in southern Amazonia. *Appl ecol environ res*. 2023;21:5. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2105_49574976.

Mafra AL, Guedes SFF, Klauberg Filho O, Santos JCP, Almeida JA, Rosa JD. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Rev Árvore*. 2008;32:217-24. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200004>.

Martins L, Cavararo R. *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos*. 2. ed. IBGE: Rio de Janeiro; 2012.

Milne G. Soil reconnaissance journey through parts of Tanganyika territory december 1935 to February 1936. – *Journal of Ecology*. 1947;35:192-65. <https://doi.org/10.2307/2256508>.

Neves Junior AF, Silva AP, Noronha NC, Cerri CC. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. *Rev Bras Cienc Solo*. 2013;37:232-41. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100024>.

Perigolo NA, Medeiros MB, Simon MF. Vegetation types of the upper Madeira River in Rondônia, Brazil. *Brittonia*. 2017;69:423-46. <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9505-1>.

Pinheiro Junior CR, Pereira MG, Filho JSO, Beutler SJ. Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? *Journal of Arid Environments*. 2019;162:45-52. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.004>.

Planafloro. Diagnóstico Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia e assistência técnica para formulação da segunda aproximação do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. 1998.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, OLIVEIRA VA, Lumbrreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 5ª.ed. Embrapa: Brasília-DF; 2018.

Schindwein JA, Marcolan AL, Fioreli-Perira EC, Pequeno PLL, Militão JSTL. Solos de Rondônia: usos e perspectivas. *Rev Ciênc Amazôn*. 2012;1:213-31.

Shinzato E, Teixeira WG, Mendes AM. Solos. In: Adamy A. Geodiversidade do estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM; 2010.

Wilson JP, Gallant JC. Digital terrain analysis. In: Wilson JP, Gallant JC. *Terrain analysis: Principles and applications*. New York: John Wiley & Sons; 2000.



Solos das Savanas de Roraima

José Frutuoso do Vale Júnior¹; Carlos Henrique Lima de Mattos²; Carlos Eduardo Lucas Vieira¹; Vladimir de Souza¹.

¹Universidade Federal de Roraima

²Instituto Federal de Roraima

1 Introdução

O estado de Roraima, localizado no extremo norte do Brasil, com sua maior área territorial no hemisfério Norte, apresenta ampla variabilidade geoambiental, diferenciando-se do restante da Amazônia.

Essa variabilidade pode ser verificada na ocorrência de três formações vegetais: florestas, campinaranas e savanas. Essas formações estão associadas à grande diversidade pedológica devido à ação interdependente dos fatores de formação do solo, especialmente do material de origem, relevo e clima (Vale Júnior e Schaefer, 2010).

O domínio da Savana, regionalmente denominado Lavrado, é uma extensa superfície de aplainamento, com predomínio de áreas aplainadas e dissecadas em rochas pré-cambrianas do Complexo Guianense, com relevo plano a suave ondulado, elaborado sobre os sedimentos da Formação Boa Vista (Santos et al., 2018). Nos relevos mais movimentados, foram mapeados solos avermelhados influenciados por produtos do intemperismo do basalto da Formação Apoteri, representado pela serra de Nova Olinda, que aflora próximo à capital Boa Vista. Essa homogeneidade aparente de geologia/geomorfologia, cobertura vegetal, esconde uma ampla variação de classes de solos. Neste capítulo, porém, serão abordadas as classes mais dominantes da Savana Roraimense.

Nos últimos anos, nas áreas de savana do estado de Roraima, houve um crescimento expressivo das atividades agrícolas. Em vista disso, aumenta a importância de estudos mais detalhados sobre os solos pertencentes a esse estado, pois a falta desses estudos, importantes na caracterização das principais propriedades físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas dos solos, dificulta ações mais organizadas de desenvolvimento de atividades agrícolas na região.

Portanto, este capítulo tem como objetivo colaborar com o aumento de fontes de informações sobre caracterização, classificação do solo, relações solo-paisagens, bem como avaliar o potencial agrícola dos solos inseridos no domínio das Savanas Roraimenses (Lavrado). Além disso, servirá como suporte para atuais e futuras pesquisas que envolvam uso, manejo e conservação de solos semelhantes quanto ao ambiente e às características físicas, químicas e mineralógicas.

2 Caracterização ambiental

A geologia da Savana Roraimense é constituída por um mosaico de rochas ígneas,

metamórficas e sedimentares de distintas fases de evolução tectônica. A Figura 1 revela os domínios geológico e geomorfológico das áreas de savanas roraimenses.

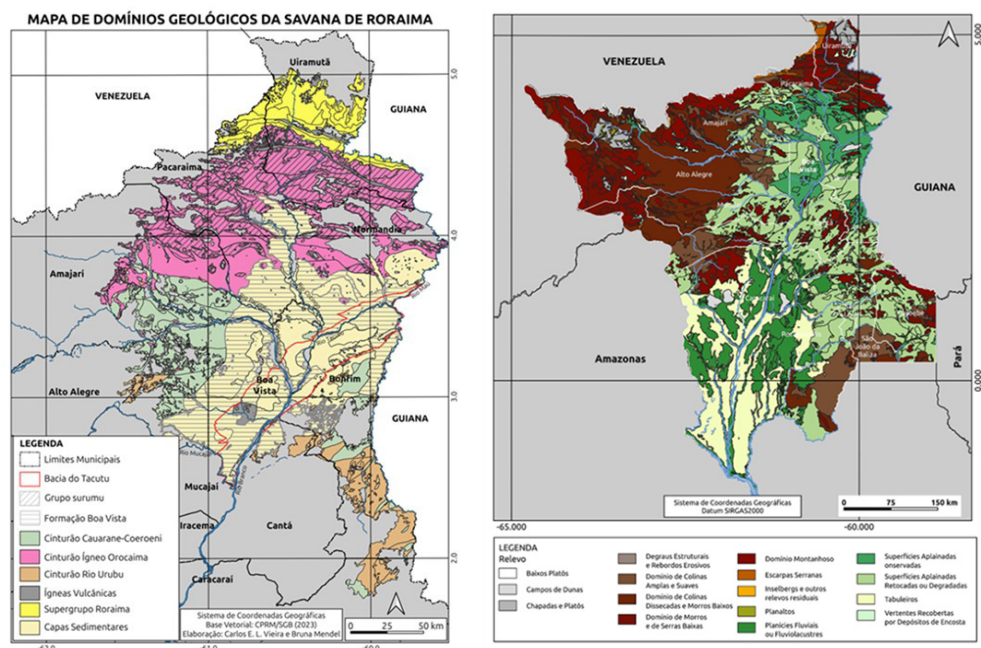


Figura 1. Mapas dos domínios geológicos e geomorfológicos da Savana Roraimense com os principais cinturões tectonoestratigráficos e capas sedimentares e metassedimentares. Fonte: Elaborados por Carlos Vieira e Bruna Mendel.

Seu embasamento é caracterizado por rochas ígneas e metamórficas do Cinturão Cauarane-Coeroeni, Cinturão Ígneo Orocaina e Cinturão Rio Urubu (Reis et al., 2017; Almeida e Nascimento, 2020; Fraga et al., 2024). Na era Mesoproterozoica, entre 1,8 a 1,0 G.a., novos eventos tectônicos resultaram na formação de uma bacia que foi preenchida pelos depósitos vulcano-sedimentares do Supergroupo Roraima (Mendes et al., 2022).

Caracterizada como uma imensa Depressão de mais ou menos 300 km de extensão por 50 km de largura, a bacia do Tacutu estende-se ao longo de um eixo NE-SO desde mais ou menos a cidade de Boa Vista até a porção centro-sul da Guiana, passando pelo município de Bonfim até Lethem na Guiana. A bacia do Tacutu apresenta um amplo registro fóssilífero, abrangendo macro e microfóssis (troncos, frutos, folhas, galhos e palinórfos), invertebrados (insetos, mo-

luscos), icnofósseis de invertebrados e vertebrados (dinossauros), cujas datações relativas têm corroborado as idades juró-cretáceas (Barros et al., 2024).

Um abatimento local da crosta levou à formação de uma nova área de relevo negativo (sinéclise), para onde se direcionam os sedimentos pertencentes à Depressão Boa Vista. Essa área é composta atualmente pelos sedimentos fluvio-lacustres consolidados ou parcialmente inconsolidados da Formação Boa Vista e pelos sedimentos eólicos inconsolidados da Formação Areias Brancas, ambas do Pleistoceno, além de sedimentos aluviais quaternários (Vaz et al., 2007; Menezes et al., 2020).

Em termos tectonoestratigráficos, as rochas ígneas e metamórficas paleoproterozoicas do embasamento correspondem às daquelas do Cinturão Cauarane-Coeroeni, ao Cinturão Ígneo Orocaina e ao Cinturão Rio Urubu; as rochas metavulcano-sedimentares mesoproterozoicas correspondem às do Supergrupo Roraima; as vulcano-sedimentares mesozoicas correspondem às da bacia do Tacutu; e as sedimentares cenozoicas correspondem às da Formação Boa Vista e aos depósitos aluviais quaternários.

As rochas com maior expressão e frequência geográficas na região da Savana Roraimense são aquelas pertencentes aos Grupos Surumu e Cauarane, às suítes intrusivas Saracura e Pedra Pintada, às Formações Apoteri, Boa Vista e Areias Brancas.

Na região de savana, o relevo é dominado por superfícies aplainadas apresentando mosaicos de relevo de domínio de colinas dissecadas e morros baixos. Uma das características marcantes desta área é a presença de tabuleiros entrelaçados por linhas de buritizais, presentes em áreas alagadas próximo aos igarapés e rios. A relação da vegetação de savana com o relevo foi comentada por Schaefer et al. (1993), que relacionaram a ocorrência destas áreas a processos erosivos e deposicionais que datariam do período Jurássico e estariam correlacionados a efeito das alternâncias climáticas do relevo.

Em estudos pedológicos realizados no estado de Roraima (Vale Júnior, 2000, 2002; Vale Júnior e Sousa, 2005; Vale Júnior et al., 2014; Benedetti et al., 2011), foi possível identificar e caracterizar as variações de geologia, relevo, solo, vegetação e clima na Savana Roraimense. A Figura 2 destaca a diversidade pedológica do Pediplano Rio Branco (domínio das savanas), e o Quadro 1 sintetiza suas relações com a paisagem.

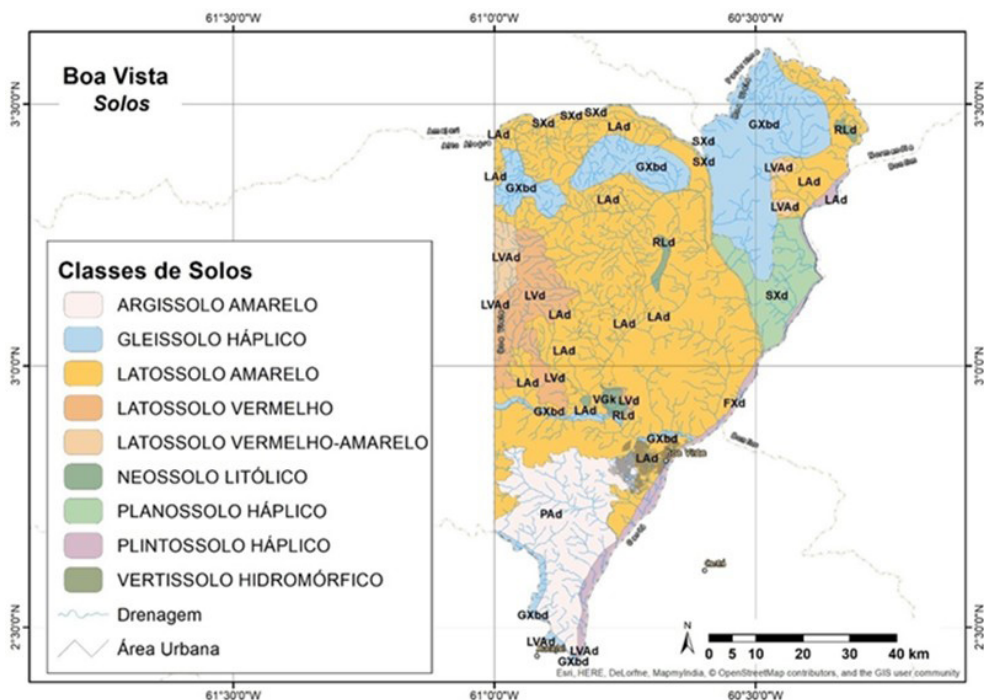


Figura 2. Mapa de solos do município de Boa Vista, capital do estado de Roraima, inserida totalmente no domínio das savanas. Fonte: Compilação dos autores.

Quadro 1. Características pedológicas, geomorfológicas e vegetacionais das Savanas do Pediplano Rio Branco e características do uso da terra. Fonte: Adaptado de Vale Júnior (2000).

Solo	Geologia/geomorfologia	Vegetação	Uso da terra atual
Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso típico	Sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista (Terciário/Quaternário) Pediplano Rio Branco	Savanas florestadas	Área mais antiga de ocupação; Lavoura de grãos e pecuária
Neossolo Quartzarênico órticos e Hidromórfico e Organossolo	Cotas de 80 a 110 m	Savanas gramíneas e gramíneo-lenhosas; Presença de veredas	Elevada intensidade de uso da terra

Quadro 1. Continuação.

Solo	Geologia/geomorfologia	Vegetação	Uso da terra atual
Latossolo Vermelho Eutrófico e Distrófico; Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Argissolo Vermelho Distrófico	Inselbergs com matacões	Savanas florestadas	Projetos de fruticultura, pecuária, grãos, florestamento e psicultura
Gleissolo e Organossolo	Sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista (Terciário/Quaternário)	Savanas gramíneas	Áreas de preservação permanentes
Planossolo e Gleissolo	Sedimentos da Formação Surumu	Savanas estépicas	Pastagem extensiva

No estado de Roraima, conforme o sistema de classificação da vegetação brasileira, existem três grupos de formações vegetais: as florestas, as campinas/campinaranas e as savanas (Figura 3). Neste capítulo iremos focar nos domínios das savanas, caracterizadas como formações abertas, não florestais, denominadas regionalmente lavrado, posicionadas na porção central do estado, ladeadas por florestas e campinas/campinaranas, em uma área aproximada de 43.000 km².

Os termos savana, lavrado e cerrado, identificam, pela fisionomia, a mesma paisagem. Porém, existem especificidades ecológicas e florísticas que distinguem as savanas do extremo norte amazônico do bioma Cerrado brasileiro (Vale Júnior e Schaefer, 2010; Barbosa et al., 2004).

Em função das suas características fitofisionômicas, intimamente associadas à variação de solos, clima e relevo, a savana pode ser descrita, conforme Barbosa et al. (2004) (Figuras 4 e 5): Savana Arbórea Densa (Sd); Savana Arbórea Aberta (Sa); Savana Parque (Sp); Savana Gramínea ou Gramíneo-lenhosa (Sg).

A Savana Estépica ocupa a área dissecada do extremo norte brasileiro, situada entre a savana da planura de acumulação do graben do Takutu, ao sul, e o planalto florestado da Venezuela ao norte. Seu limite oeste é nítido e bem demarcado pela Floresta Densa Montana e pelo Campo Cerrado da área arenítica muito dissecada. Seu limite leste é impreciso, prolongando-se para a Guiana. Esse tipo vegetacional subdivide-se em quatro subtipos: Savana Estépica Arbórea Densa

(Td); Savana Estépica Parque (Tp); Savana Estépica Graminosa (Tg).

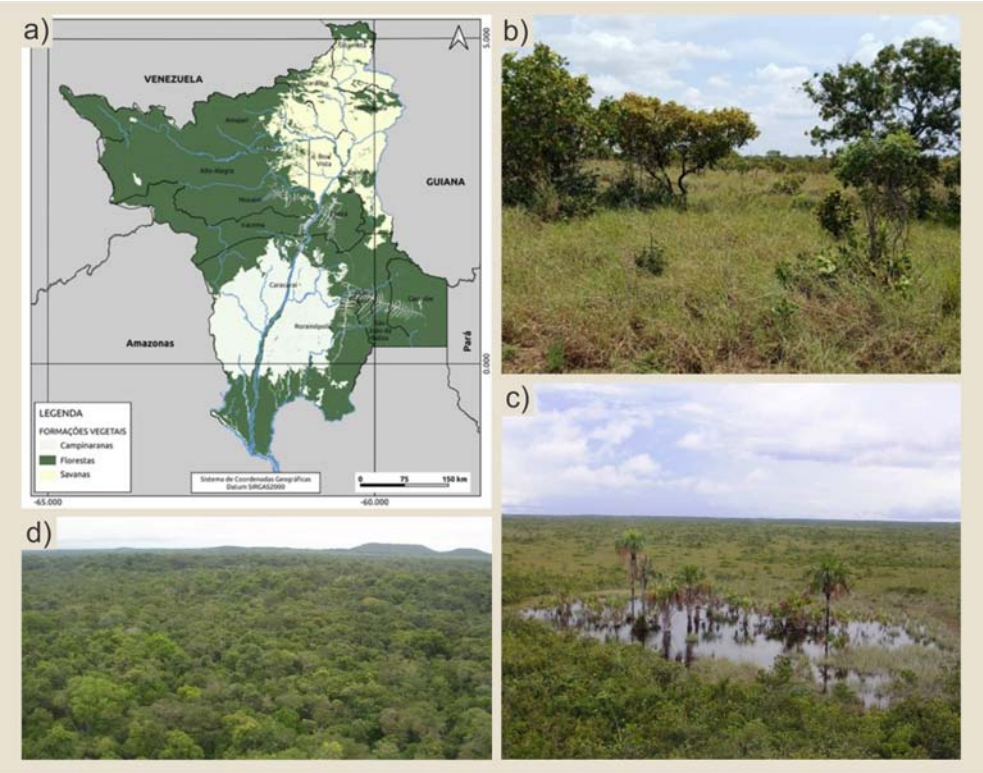


Figura 3. Grupos de formações vegetais do estado de Roraima (a); savana (b); campina/campinarana (c); e floresta (d). Fonte: Compilação dos autores.

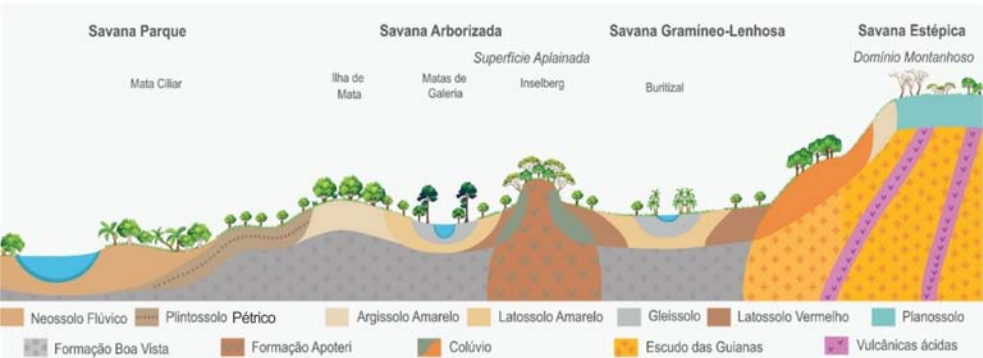


Figura 4. Variação das tipologias de Savanas Roraimense em função de solo, relevo, geologia e clima. Fonte: Elaborada por Bruna Mendel Naissinger.

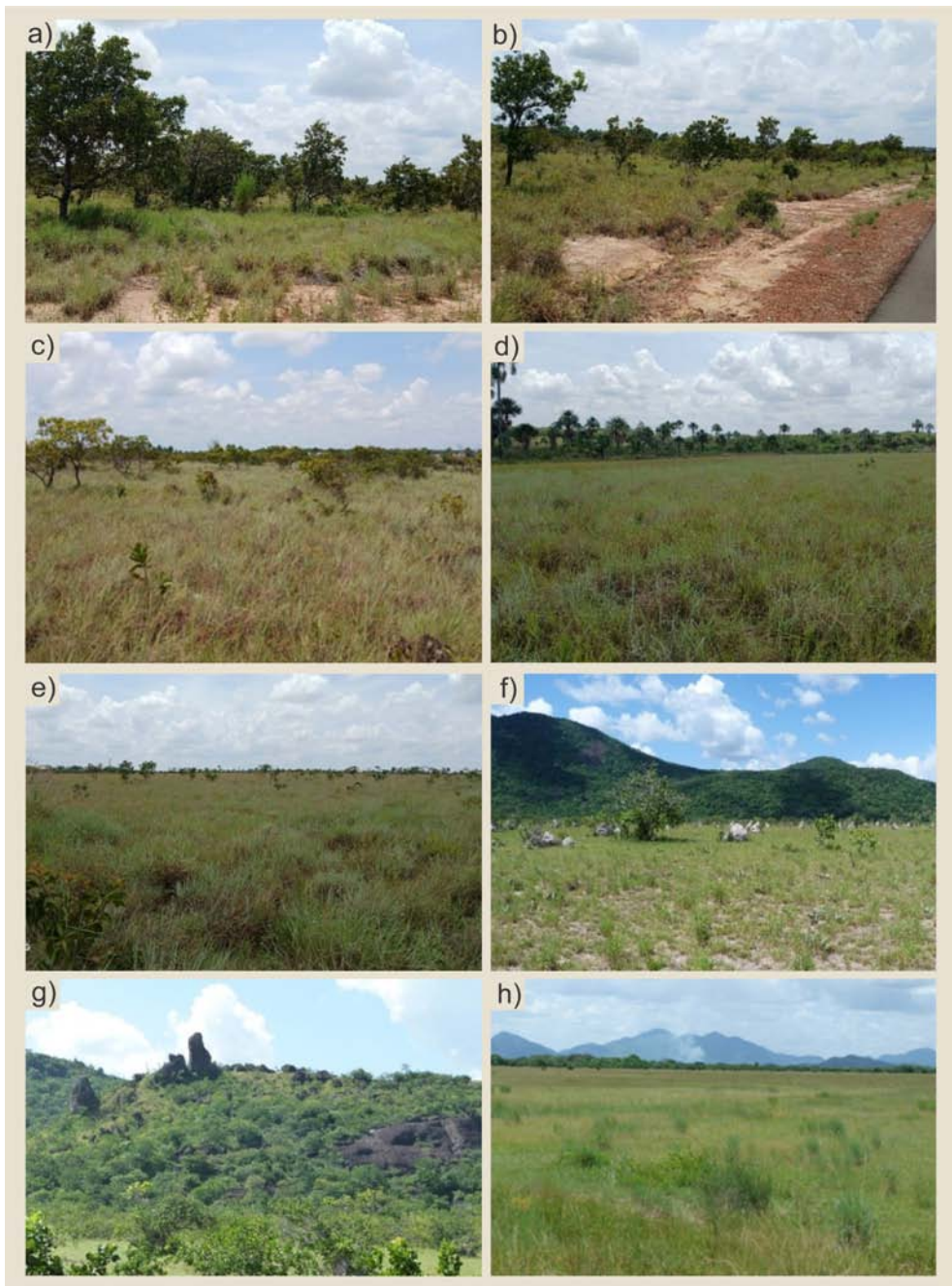


Figura 5. Savanas associadas aos solos profundos e bem drenados: Savana Arbórea Densa (a); Savana Arbórea Aberta (b); Savana Parque (c). Savanas associadas aos solos com restrição à drenagem: Savana Graminosa (d); Savana Gramíneo-lenhosa (e). Savana Estépica associada aos solos afetados por sódio: Savana Estépica Arbórea Aberta (f); Savana Estépica Abórea Densa (g); Savana Estépica Graminosa (h). Fonte: Dos autores.

A caracterização climática do domínio das savanas, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw – tropical chuvoso, quente e úmido, com duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso (Figura 6).

A precipitação anual média é de 1.688 mm, com maiores precipitações pluviométricas nos meses de abril a setembro, com médias superiores a 330 mm nos meses de junho e julho (Barbosa et al., 1997). A temperatura média é de 27 °C.

Na porção mais extremo norte do estado, no domínio das Savanas Estépicas, caracteriza-se uma condição climática semelhante à do Nordeste brasileiro, período seco mais longo e com baixas precipitações, refletindo na fitofisionomia, com presença de cactáceas em afloramentos rochosos.

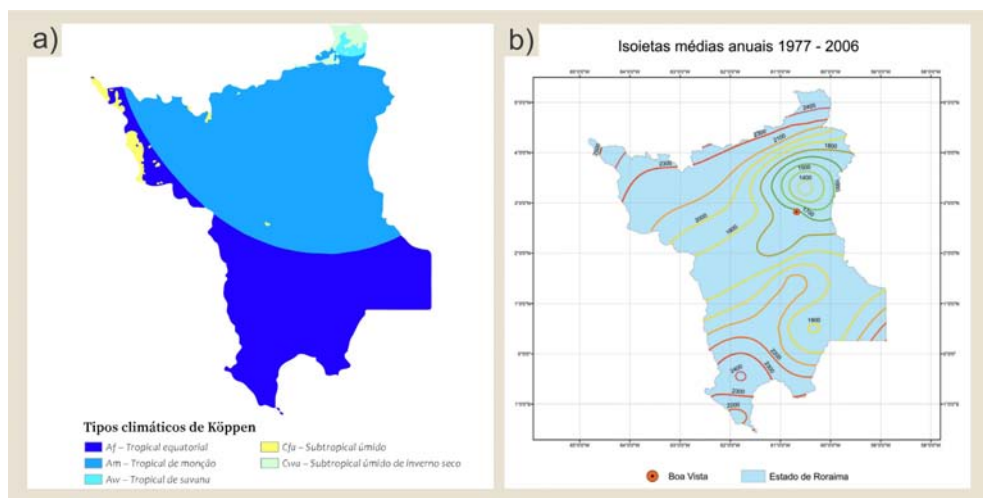


Figura 6. Distribuição das regiões climáticas de Roraima (a), segundo a classificação de Köppen; isoietas de precipitação média anual para o estado de Roraima (b). Fonte: Modificado de Brasil (1975); Atlas Pluviométrico do Brasil 1977 a 2006 (CPRM, 2006).

3 Relação solo-paisagem

A Figura 7 apresenta uma seção esquemática em um transecto saindo da Formação Surumu, domínio das Savanas Estépicas, no extremo norte do estado, até o limite do rio Mucajaí, fronteira das savanas com o domínio das florestas, onde a transição ocorre de maneira abrupta.

No domínio da Depressão do Surumu, os solos caracterizam-se por níveis de sódio mais elevados do que os do restante das savanas, herdado do material de

4 Dados Pedológicos

4.1 Latossolos Amarelos Distrocoesos típicos

Esta classe de solo ocorre distribuída por toda a extensão da Savana de Roraima, preferencialmente nos relevos planos a suave ondulado, associados numa sequência na paisagem de Latossolos, nas partes planas, e Argissolos nas bordas. Estão sob uma vegetação natural que varia de savana gramíneo-lenhosa a savana parque. São solos formados a partir de sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista, profundos, bem drenados, bastante intemperizados, com sequência de Horizonte A moderado, seguido de B latossólico (Bw).

O horizonte A apresenta cores brunada e bruno-amarelada-escura, de textura média, sem caracterizar elevado gradiente textural, com relação textural 1,24, com transição plana e clara do A para Bw (Figura 8).

No horizonte Bw, a coloração é amarela a amarelo-avermelhada. Apresenta transição plana e difusa em todo o horizonte diagnóstico Bw. São solos distróficos e com reservas muito baixas de nutrientes. São intensamente intemperizados, o que caracteriza uma baixa capacidade de retenção de cátions (Quadro 2).

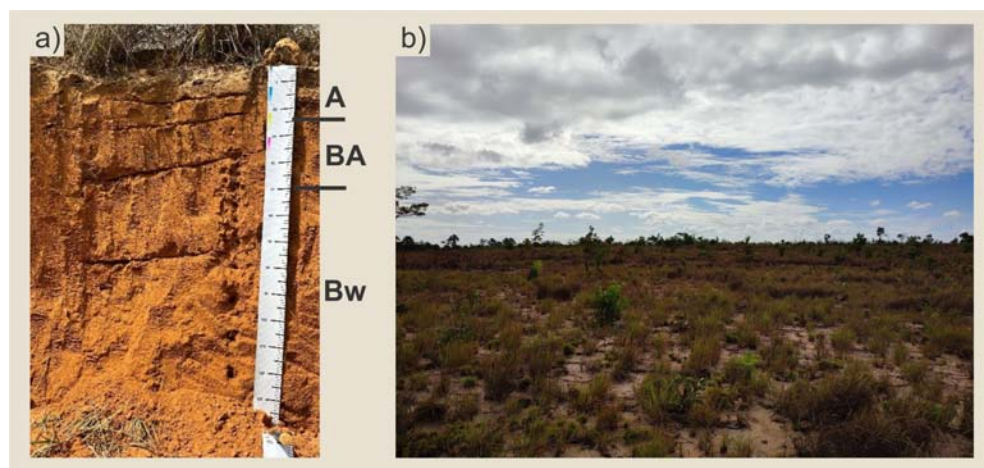


Figura 8. Perfil de Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (a) e paisagem de ocorrência (b) em relevo plano com vegetação natural do tipo Savana Arbórea Densa a Savana Parque. Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

Quadro 2. Dados físicos e químicos do Latossolo Amarelo Distrocoeso típico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
Ap	0-16	314	429	36	221	0,16
AB	16-23	335	304	59	302	0,20
BA	23-50	308	385	45	262	0,17
Bw1	50-97	317	367	54	262	0,21
Bw2	97-139	339	278	101	282	0,36
Bw3	139-180	343	293	81	283	0,29

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
Ap	5,5	0,3	0,02	0,02	0,02	1,1	0,2	1,6
AB	5,1	0,2	0,01	0,01	0,02	1,1	0,4	1,7
BA	5,2	0,1	0,01	0,01	0,02	0,9	0,4	1,4
Bw1	5,6	0,2	0,01	0,01	0,02	0,8	0,2	1,2
Bw2	5,6	0,1	0,01	0,01	0,01	0,8	0,2	1,1
Bw3	5,7	0,2	0,01	0,01	0,05	0,8	0,2	1,3

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Ap	40	19	1	2,0
AB	67	12	<1	1,5
BA	80	7	<1	1,5
Bw1	50	17	<1	1,1
Bw2	67	9	<1	1,3
Bw3	40	23	<1	1,1

4.2 Argissolos Amarelos Distróficos típicos

Esta classe de solos ocupa todo o domínio das savanas na porção mais ao sul de Boa Vista, sempre associados aos LAd, seguindo uma topossequência em que, nos topos bem aplainados, posicionam-se os LAd e, nas bordas, os PAd. São solos bem drenados, profundos. Apresentam coloração bruno-amarelada em superfície, ao passo que, no horizonte Bt, o matiz é 7,5YR (amarelo avermelhado) até

cores amareladas, com matizes 2.5Y (Figura 9).

Apresentam boas condições físicas relacionadas com textura arenosa/média, com teor de argila em superfície variando de 120 g kg⁻¹ e, em profundidade, apresentando até 323 g kg⁻¹, o que resulta em elevada relação textural (acima de 1,7). São solos com estrutura do tipo granular e grãos simples, no horizonte A, e moderada, pequena a média, do tipo blocos subangulares e angulares no horizonte Bt. Possuem transições entre os horizontes do tipo clara e difusa e plana. São solos ácidos e distróficos com reservas muito baixas de nutrientes (Quadro 3).

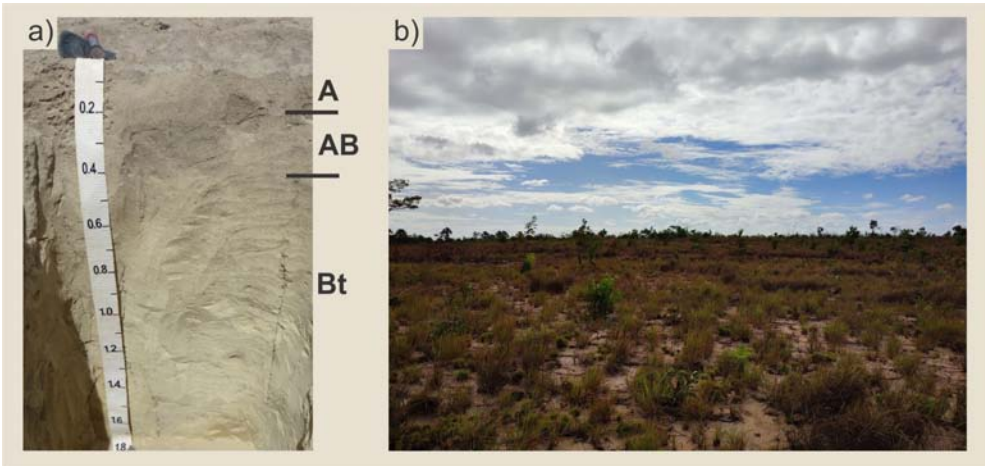


Figura 9. Perfil de Argissolo Amarelo Distrófico típico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). A paisagem dos PAd é a mesma dos LAd (Figura 8). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

Quadro 3. Dados físicos e químicos do Argissolo Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-30	560	309	11	120	0,09
AB	30-40	433	300	46	221	0,21
Bt1	40-80	508	301	10	181	0,06
Bt2	80-127	386	304	48	262	0,18
Bt3	127-170	349	260	68	323	0,21

Quadro 3. Continuação.

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,2	0,1	0,01	0,01	0,01	0,7	0,3	1,1
AB	5,2	0,1	0,01	0,01	0,01	0,8	0,2	1,1
Bt1	5,0	0,1	0,01	0,01	0,01	0,8	0,3	1,2
Bt2	5,7	0,1	0,01	0,01	0,01	0,8	0,2	1,1
Bt3	5,6	0,1	0,01	0,01	0,01	0,9	0,2	1,2

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	75	9	<1	2,0
AB	67	9	<1	1,7
Bt1	75	8	<1	2,4
Bt2	67	9	<1	1,1
Bt3	67	8	<1	1,3

4.3 Latossolos Vermelhos-Amarelos Distróficos típicos

Compreendem solos minerais desenvolvidos a partir de sedimentos arenoargilosos resultantes do intemperismo de rochas metamórficas. Esses materiais apresentam características máficas como granitos e gnaisses, distribuídos ao longo de falhas formando as serras do Murupu, Moça, Grande, Cantá, Confianças, Lua, Mucajaí, Mocidade, Anauá, Apiaú, entre outras, e rochas vulcânicas básicas como basalto e diabásio, representantes da Formação Apoteri, com afloramentos na serra de Nova Olinda e região da colônia agrícola do Taiano.

São solos posicionados nos topos mais aplainados da paisagem, em relevo suave ondulado a ondulado, sob vegetação primária de savana nas suas mais variadas fitofisionomias, na porção mais central do estado de Roraima e sob diversos tipos de fitofisionomias florestais.

Apresentam horizonte B latossólico imediatamente abaixo de horizonte diagnóstico superficial A moderado. São profundos, bem drenados, com ausência de cerosidade, com sequência de horizontes A, Bw e C e transição entre os horizontes plana e difusa (Figura 10). O horizonte A apresenta coloração com matiz 10 YR, e o horizonte Bw apresenta espessura superior a 100 cm, com coloração amarelo-avermelhada de matiz 7,5YR.

A textura varia de acordo com o material de origem, sendo encontradas manchas de textura média, argilosa e média/argilosa sem apresentar elevado gra-

diente textural, com teores de argila variando de 252 g kg⁻¹, no horizonte A, até 412 g kg⁻¹ no horizonte B, e relação textural inferior a 1,5 (Quadro 4).

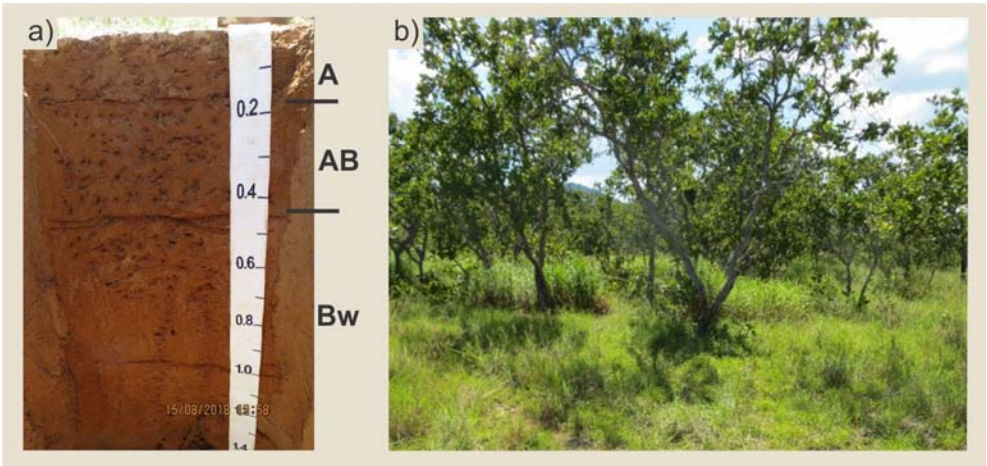


Figura 10. Perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

Quadro 4. Dados físicos e químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)			Relação Silte - Argila
		Areia	Silte	Argila	
A	0-18	668	80	252	0,09
AB	18-43	596	96	309	0,21
Bw1	43-100	502	104	395	0,06
Bw2	100-150	501	87	412	0,18

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,70	0,40	0,08	0,03	0,00	2,49	0,35	3,00
AB	5,70	0,25	0,11	0,01	0,00	1,93	0,21	2,30
Bw1	5,80	0,17	0,10	0,01	0,00	1,68	0,09	1,96
Bw2	5,90	0,16	0,10	0,01	0,00	1,35	0,07	1,62

Quadro 4. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	41	17	0,00	9,49
AB	36	16	0,00	4,14
Bw1	24	14	0,00	2,51
Bw2	21	17	0,00	0,65

São solos ácidos, apresentando valores baixos para soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca de cátions, sendo todas essas características dependentes da natureza do material de origem (sedimentos argiloarenosos relacionados aos granitos e/ou gnaisses), com caráter distrófico e elevada saturação com alumínio.

Ocorrem algumas manchas de LVA originados de gnaisses e rochas básicas (basalto e diabásio) com caráter eutrófico, com elevada saturação por bases (região da vila do Taiano e pequenas manchas no entorno da capital Boa Vista).

4.4 Latossolos Vermelhos Distróficos típicos

A ocorrência desses solos é restrita às áreas com afloramentos de rochas máficas, ao longo de falhas geológicas distribuídas nas savanas. São solos associados a relevo plano. Pode-se destacar a presença desses solos próximo à capital Boa Vista (Formação Apoteri), ao longo da BR 174, no Km 100, na BR 401 em direção ao município de Bonfim e à colônia agrícola do Taiano (Figura 11).

Morfologicamente são solos com boas características, apresentando profundidade acima de 180 cm e boa drenagem. O horizonte diagnóstico é do tipo B latossólico, com cores avermelhadas (Figura 11) influenciadas pelo material de origem: produtos do intemperismo do basalto da Formação Apoteri.

A sequência de horizonte é A, AB, BA, Bw. A cor observada no horizonte diagnóstico é vermelha de matiz 2,5YR. Esses solos apresentam textura média em todo o perfil, com teor de argila variando entre 201 g kg⁻¹, em superfície, e 262 g kg⁻¹ em subsuperfície. Esta granulometria favorece a sua boa drenagem, baixa resistência à penetração de raízes, qualidade na estruturação, em geral, nas boas condições físicas.

São solos bem estruturados, com estrutura no horizonte superficial do tipo moderada, pequena e granular, associada com fraca, pequena, bloco subangular e, no Bw, do tipo moderada, pequena e média, granular e bloco subangular.

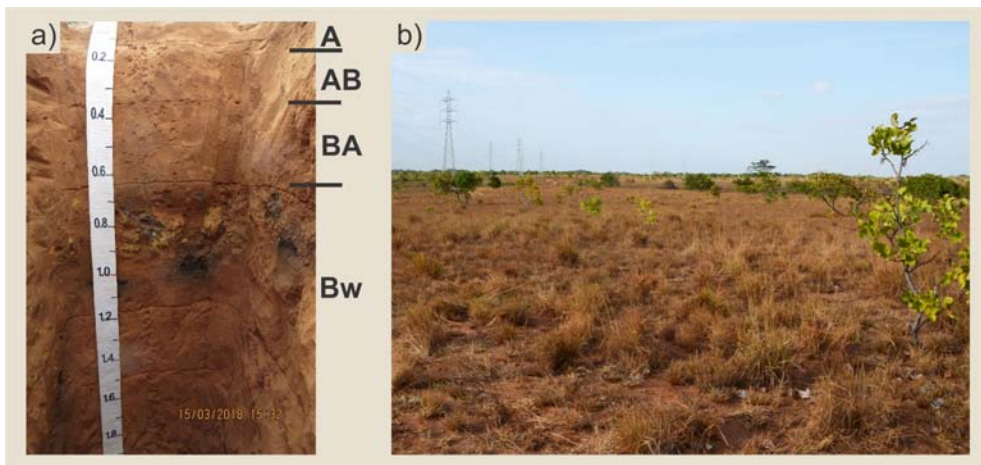


Figura 11. Perfil de Latossolo Vermelho Distrófico típico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

São solos moderadamente ácidos, com pH em água variando de 5,1 a 5,4, no horizonte Bw, e entre 5,2 e 5,9, no horizonte A. Os valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ são baixos, com saturação por bases baixa, inferior a 50%, caracterizando solos distróficos (Quadro 5).

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Latossolo Vermelho Distrófico típico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg^{-1})				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-12	392	368	39	201	0,19
AB	12-33	354	363	61	222	0,27
BA	33-65	345	313	59	283	0,21
Bw1	65-120	339	331	68	262	0,26
Bw2	120-150	335	329	94	242	0,39
Bw3	150-200	381	304	53	262	0,20

Quadro 5. Continuação.

Hori- zontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,9	0,9	0,00	0,04	0,01	1,1	0	2,0
AB	5,3	0,5	0,00	0,01	0,01	1,2	0,1	1,8
BA	5,2	0,3	0,00	0,01	0,01	1,3	0,2	1,8
Bw1	5,3	0,3	0,00	0,01	0,01	0,9	0,1	1,3
Bw2	5,3	0,4	0,00	0,01	0,01	0,9	0,1	1,4
Bw3	4,8	0,4	0,00	0,01	0,01	0,5	0	0,9

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	0	45	2	4,4
AB	17	28	1	2,6
BA	40	17	<1	2,4
Bw1	25	23	<1	1,0
Bw2	20	29	<1	0,5
Bw3	0	44	<1	0,6

4.5 Argissolos Vermelhos-Amarelos Distróficos típicos

Estes solos estão associados aos sedimentos da Formação Boa Vista e a produtos do intemperismo de rochas vulcânicas básicas, como o basalto da serra de Nova Olinda (Formação Apoteri).

Apresentam coloração dominante amarelo-avermelhada no matiz 5YR. No horizonte superficial, a cor é brunada, com matiz variando de 10YR a 7,5YR (Figura 12).

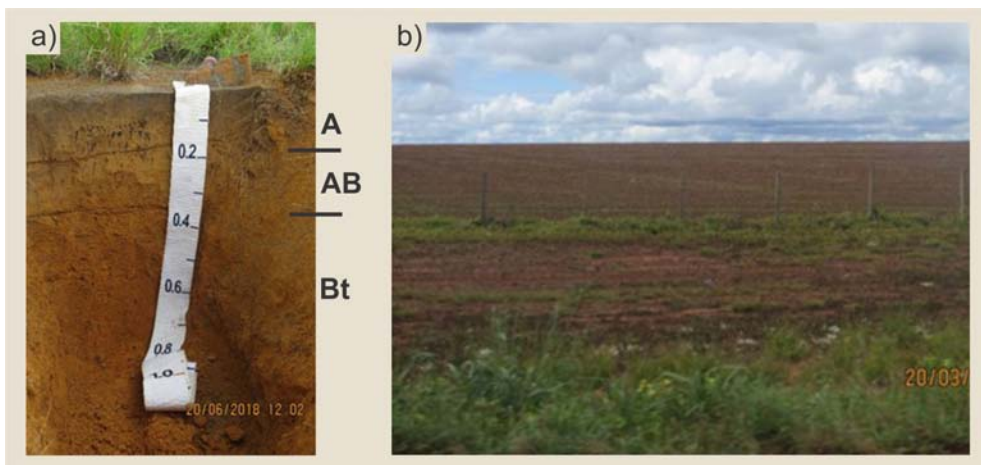


Figura 12. Perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

Quadro 5. Dados físicos e químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-20	503	312	24	161	0,15
AB	20-40	427	319	52	202	0,26
Bt1	40-73	396	279	62	263	0,24
Bt2	73-140	405	272	41	282	0,15
Bt3	140-170	389	264	65	282	0,23

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,9	0,9	0,01	0,02	0,01	1,0	0,1	2,0
AB	4,7	0,1	0,01	0,01	0,01	1,6	0,4	2,1
Bt1	4,6	0,2	0,01	0,01	0,01	1,3	0,3	1,8
Bt2	4,9	0,3	0,01	0,01	0,01	1,3	0,2	1,8
Bt3	5,1	0,2	0,02	0,01	0,02	0,9	0,2	1,3

Quadro 5. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	10	45	2	3,4
AB	80	5	1	2,7
Bt1	60	11	<1	2,1
Bt2	40	17	<1	1,2
Bt3	50	15	<1	1,1

4.6 Argissolos Acinzentados Distrocoesos abrupáticos

São solos profundos, com forte restrição à drenagem nos primeiros 100 cm de profundidade, com sequência de horizontes A, AB, BA e Bt, e presença de coesão na profundidade entre 45 e 60 cm, coincidindo com o horizonte BA. A mudança textural abrupta entre os horizontes A e Bt (Figura 13), com elevado gradiente textural (1,95), também contribui para a estagnação de água nos horizontes superficiais desses solos, condicionando a coloração acinzentada até uma profundidade de 98 cm, no matiz 10YR nos horizontes A, AB e BA. Em subsuperfície, a partir dos 98 cm a coloração é amarelada nos matizes 10YR a 7,5YR.

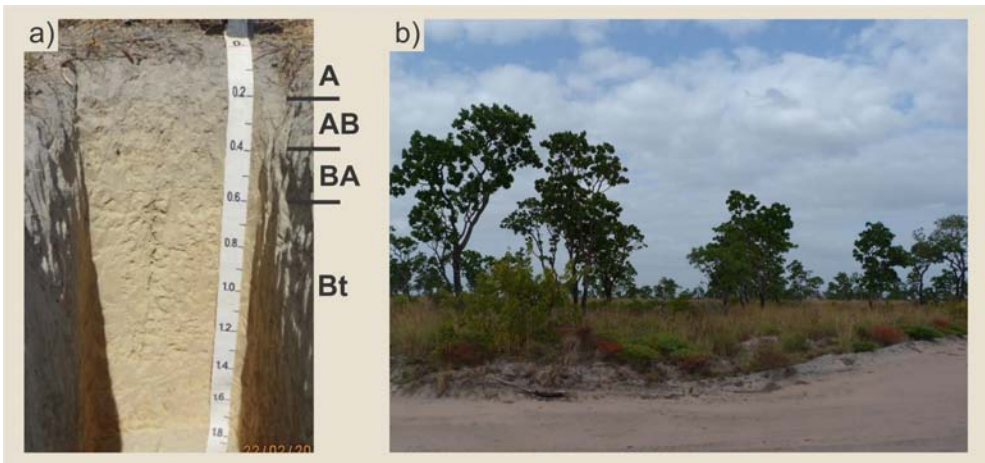


Figura 13. Perfil de Argissolo Acinzentado Distrocoesos abrupático (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

Os valores de argila variam de 222 g kg⁻¹, no horizonte A, até 513 g kg⁻¹ no horizonte Bt3 (Quadro 6), caracterizando a textura média/argilosa, com mudança textural abrupta. A consistência, quando seca, é solta a macia em superfície e, nos horizontes Bt, dura a muito dura, tornando-se friável quando úmida e plástica e pegajosa quando molhada. Quimicamente são solos ácidos, distróficos, com baixos valores de soma de bases, saturação por bases e fósforo, consequência do material de origem – sedimentos da Formação Boa Vista.

Quadro 6. Dados físicos e químicos do Argissolo Acinzentado Distrocoeso abrupto. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A	0-20	490	242	46	222	0,21
AB	20-38	416	246	55	283	0,19
BA	38-60	414	222	81	283	0,29
Bt1	60-98	374	174	88	364	0,24
Bt2	98-130	312	180	83	425	0,20
Bt3	130-180	246	166	75	513	0,15

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	5,1	0,6	-	0,05	0,01	1,8	0,3	2,8
AB	4,8	0,3	-	0,02	0,01	1,7	0,4	2,4
BA	4,9	0,3	-	0,01	0,01	1,7	0,4	2,4
Bt1	5,0	0,2	-	0,01	0,01	1,6	0,4	2,2
Bt2	5,3	0,2	-	0,01	0,01	1,3	0,3	1,8
Bt3	5,5	0,1	-	0,01	0,02	1,4	0,4	1,9

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A	30	25	3	5,5
AB	57	12	2	3,9
BA	57	12	1	2,5
Bt1	67	9	<1	2,6
Bt2	60	11	<1	1,5
Bt3	80	5	<1	1,5

4.7 Gleissolos Háplicos Tb Distróficos típicos

São solos que ocupam toda a Savana de Roraima, em ambientes lacustres (relevo abaciado) e ao longo dos igarapés, nos alinhamentos das veredas de buritis, constituindo principal indicativo de ambiente com sério problema de estagnação de água por longo período do ano, referência para delimitação de áreas de preservação permanente.

São solos hidromórficos ou com restrição importante à percolação de água e que têm horizonte C gleizado (Cg) abaixo de um horizonte A. A condição de hidromorfismo é responsável pela coloração acinzentada. Estão sob domínio da Savana Graminosa e formação pioneira (Figura 14).

As cores acinzentadas são distribuídas no matiz 10YR. Estes solos apresentam textura francoargilosa a argilosa com teor de argila sofrendo variação de 342 a 584 g kg⁻¹ e areia variando de 261 a 612 g kg⁻¹ no horizonte diagnóstico. Os valores da relação silte/argila são muito baixos, com média entre os perfis de 0,24%, indicando baixos teores de silte e, consequentemente, avançado estágio de intemperismo destes solos (Quadro 7).

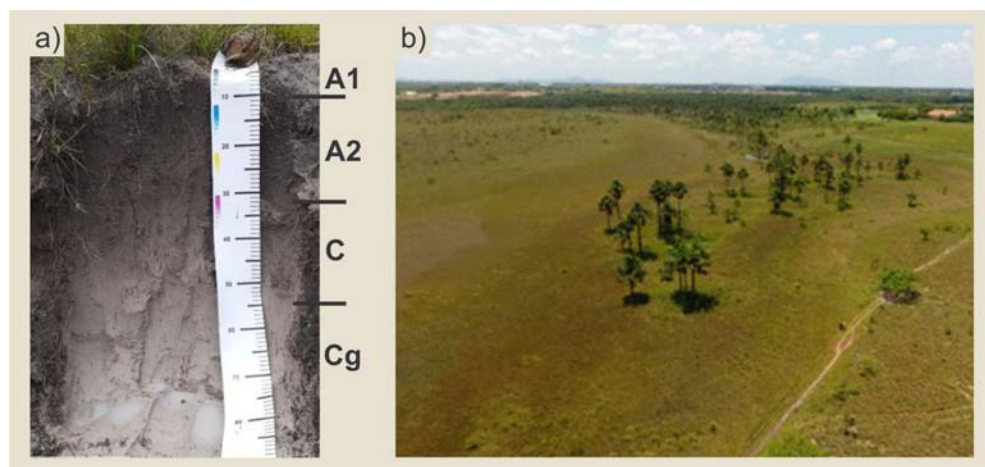


Figura 14. Perfil de Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

A estrutura é predominantemente blocos subangulares e granular nos horizontes superficiais, passando a blocos angulares e prismática em maior profundidade. Os horizontes subsuperficiais apresentaram manchas amareladas irregulares, típicas de mosqueamentos, e nódulos arredondados, vermelhos, com menos de 5% do volume da massa dos solos, ou seja, presença de plintitas.

Quadro 7. Dados físicos e químicos do Gleissolo Háplico Tb Distrófico típicos. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
A1	0-12	165	96	155	584	0,27
A2	12-31	272	197	64	467	0,14
C	31-60	315	252	49	384	0,13
Cg1	60-140	242	203	72	483	0,15
Cg2	140-200	328	284	46	342	0,13

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	4,4	0,7	-	0,10	0,03	10,6	1,6	13,0
A2	4,7	0,1	-	0,01	0,03	2,6	0,9	3,6
C	5,0	0,1	-	0,01	0,03	1,5	0,5	2,1
Cg1	5,0	0,1	-	0,01	0,03	1,1	0,5	1,7
Cg2	5,0	0,1	-	0,01	0,03	1,4	0,7	2,2

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
A1	67	6	6	31,4
A2	90	3	<1	4,6
C	83	5	<1	2,3
Cg1	83	6	<1	1,6
Cg2	87	5	<1	1,3

Em geral, os Gleissolos, no estado de Roraima, são fortemente ácidos, com pH em água variando de 4,4 a 5,0 no horizonte diagnóstico. Apresentam valores médios muito baixos para a soma de bases (<0,8 cmol_c kg⁻¹), Capacidade de Troca Catiônica – CTC (<13,0 cmol_c kg⁻¹) e saturação de bases (<6,0%). Já a saturação por alumínio, com valores variando entre os perfis de 67% a 90%, é elevada. De acordo com os resultados, estes solos são alumínicos, com baixa fertilidade natural e pobres quimicamente.

A baixa reserva de nutrientes é percebida nos valores muito baixos do fósforo disponível: inferiores a 1 mg kg⁻¹ nos horizontes diagnósticos, ao passo que, no horizonte A, o teor é de 6,0 mg kg⁻¹. A matéria orgânica é de 0,2% nos horizontes diagnósticos, concentrando-se em superfície com valor de 5,4%.

4.8 Planossolo Nátrico Órtico vertissólico

Na região Nordeste de Roraima, é possível observar a ocorrência de solos afetados por sódio em domínio de savana estépica (Figura 15), com presença marcante de cupins gigantes (Pagodeiros).

A geologia da região é constituída por rochas vulcânicas ácidas e intermediárias (riolitos, dacitos e riodacitos) da Formação Surumu (Brasil, 1975; Schaefer, 1993; Seabra, 2019). Essas rochas são ricas em quartzo, feldspato potássico e plagioclásio sódico. A área é uma vasta superfície de aplainamento praticamente intacta, cuja elaboração se iniciou no Pleistoceno sob um clima predominantemente seco (Brasil, 1975; Reis et al., 2017; Falcão e Costa, 2019). O regime hídrico do solo é do tipo “Typic Tropustic” em virtude do prolongado período seco e da concentração das chuvas em poucos meses do ano (Barbosa, 1997).

São solos de coloração neutra em todo o perfil, conforme definido pelo SiBCS (Santos et al., 2018). Todos os horizontes apresentam matiz 10YR e, devido à baixa permeabilidade do horizonte B plânico, as cores neutras prevaleceram, evidenciando a má drenagem desses solos na Depressão do Surumu.

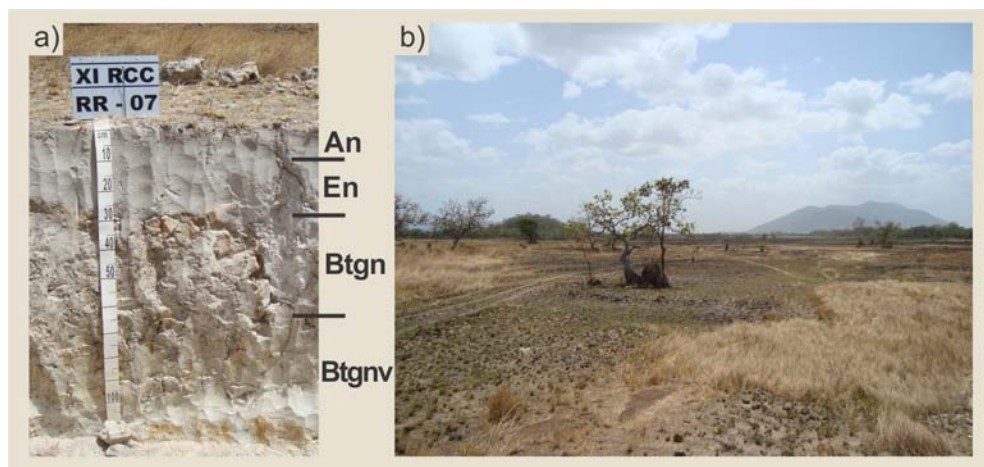


Figura 15. Perfil de Planossolo Nátrico Órtico vertissólico (a) e paisagem de ocorrência do solo (b). Fonte: José Frutuoso do Vale Júnior.

São solos com horizonte diagnóstico B plânico, com teor de argila em superfície de 40 g kg^{-1} e, em subsuperfície, de 287 g kg^{-1} , resultando em elevado gradiente textural, com mudança textural abrupta. Esse gradiente é favorecido pela elevada concentração em sódio nestes Planossolos, o que promove a dispersão de argila, que acumula no B plânico (Quadro 8). Este horizonte plânico apresenta

uma estrutura forte, do tipo colunar e prismática, com blocos angulares e subangulares variando de muito pequenos a muito grandes. Isso se deve à rigidez e agregação do acúmulo de argila nesses horizontes causadas por elevados teores de sódio, que dispersam argila e tornam a estrutura maciça.

Quadro 8. Dados físicos e químicos do Planossolo Nátrico Órtico vertissólico. Dados extraídos de Almeida (2019).

Horizontes	Profundidade (cm)	Fração da amostra total (g kg ⁻¹)				Relação Silte - Argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
An	0-8	87	366	507	40	12,67
En	8-15	62	352	546	40	13,65
EBn	15-20	36	285	558	121	4,61
Btn	20-41	49	194	533	224	2,38
Btgn	41-63	145	170	419	266	1,58
Btgnv1	63-83	70	158	443	329	1,35
Btgnv2	83-104	29	158	526	287	1,83
2Cgn	104+	72	315	533	80	6,66

Horizontes	pH H ₂ O	Complexo sortivo – cmol _c kg ⁻¹						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
An	6,3	1,2	0,3	0,08	0,61	0,7	0	2,9
En	6,5	0,8		0,04	0,61	0,8	0	2,2
EBn	7,2	0,9	0,2	0,06	2,04	0	0	3,2
Btn	7,6	2	0,2	0,13	4,49	0	0	6,8
Btgn	8	3,1	0,2	0,14	5,53	0	0	9
Btgnv1	7,8	4,3	0,2	0,13	6,38	0	0	11
Btgnv2	7,6	3,1	0,1	0,11	5,88	0	0	9,2
2Cgn	7,6	0,8		0,03	1,1	0	0	1,9

Quadro 8. Continuação.

Horizontes	Al	V	P	C orgânico
	%		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
An	0	76	1	5,9
En	0	64	1	2,8
EBn	0	100	<1	2,7
Btn	0	100	1	2,7
Btgn	0	100	4	1,9
Btgnv1	0	100	<1	1,3
Btgnv2	0	100	<1	1,0
2Cgn	0	100	<1	0,2

Os Planossolos da bacia do Surumu apresentam pH elevado em todo o perfil, acima dos padrões para os solos da Savana Roraimense – influenciado pelo níveis elevados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ . É notável a presença de elevadas concentrações de Na^+ (atingindo $6,38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Ca^{2+} (com valores de $4,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), nos Planossolos Nátricos, constituindo a maior parte da CTC, especialmente no horizonte diagnóstico desses solos. Já os teores de K^+ , Mg^{2+} e P apresentam baixos valores. As elevadas concentrações de bases contribuem para a diminuição da acidez trocável (Al^{3+}) e potencial ($\text{H}+\text{Al}$), que tendem a zero conforme os perfis se aprofundam.

5 Limitações de uso agrícola

Os solos das Savanas de Roraima são de baixa fertilidade natural, com baixos valores de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), com Al^{3+} dominando o complexo de troca. Em geral, apresentam baixos valores para fósforo disponível, inferiores a $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ em todo o perfil, bem como para matéria orgânica (<2,0%), pois a queimada anual promove mineralização rápida da Matéria Orgânica do Solo (MOS). Recomenda-se maior preocupação no manejo da adubação e na correção para futuras e atuais culturas. Com manejo sustentável, visando à incorporação da MOS, merecem destaque adubos verdes, compostagem, palhadas, eliminação do uso do fogo, etc.

Os Argissolos ainda apresentam maior suscetibilidade à erosão devido ao gradiente textural elevado e ao relevo ondulado. Os Gleissolos ocorrem predominantemente nas áreas de várzeas e depressões da paisagem, em posições sujeitas à saturação hídrica temporária ou permanente, apresentando sérias limitações

quanto à drenagem e aeração, o que restringe o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas convencionais e, eventualmente, a mecanização das lavouras. Os Planossolos apresentam sérias restrições devido ao horizonte B plânico ser de baixa permeabilidade, o que causa encharcamento temporário na estação chuvosa e déficit hídrico na seca. A presença de sódio, especialmente nos Planossolos Nátricos, constitui limitação adicional que exige manejo específico.

Atualmente, esses solos com limitações quanto à fertilidade, drenagem, suscetibilidade à erosão e mecanização estão sendo ocupados por lavouras e pecuária e tendo a aplicação de tecnologias modernas resultantes de pesquisas nas quais o uso de corretivos e fertilizantes tem possibilitado atingir produtividades significativas em solos outrora com presença de restrições agrícolas.

6 Potencial de uso das terras

Nas últimas décadas, houve profunda revolução no setor produtivo considerando tecnologias e manejos. Essa revolução tem permitido que terras inaptas se tornem aptas para lavouras depois de corrigidas suas limitações, caso verificado em Roraima, especialmente nas classes de Gleissolos e Planossolos, os quais apresentam potencial para pastagens e arroz irrigado.

Como exemplo, temos a bacia do rio Surumu e Tacutu, onde produtores estão conseguindo excelentes produtividades em grãos (arroz) em integração com pecuária. Também vale destacar classes inseridas na savana, com moderada a forte deficiência quanto à fertilidade, como Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo Distrófico ácido, com saturação de bases muito baixas – esses solos apresentam, atualmente, produção satisfatória com aplicação adequada de corretivos e adubos.

7 Considerações finais

Roraima é o estado brasileiro com maior diversidade de solos na região Amazônica, apresentando 12 das 13 classes (ordens) de solos do SiBCS (Santos et al., 2018). Neste capítulo é possível confirmar esta diversidade, na região de Savana, onde já foram descritas e mapeadas 10 ordens, com domínio dos Latossolos e Argissolos.

Os resultados deste estudo revelaram a predominância de solos bastantes intemperizados, profundos e bem drenados, ácidos e de baixa saturação por bases, de forma geral com baixa fertilidade natural, apresentando boas condições morfológicas e físicas. Poucas manchas de solos possuem caráter coeso (Latossolo e Argissolo Amarelo). Portanto, existe o predomínio de solos de textura leve, friá-

veis, com boa capacidade de infiltração de água e retenção de umidade e baixa resistência à penetração de raízes.

Ressalta-se que, apesar de todos os trabalhos realizados até o momento e do ganho em conhecimento pedológico do estado de Roraima, é necessário esforço no sentido de realizar levantamentos mais detalhados, em escalas maiores. O objetivo é permitir uma melhor orientação para o uso da terra em nível de propriedades rurais e projetos de assentamentos, visando, em última análise, à promoção de um maior desenvolvimento regional consonante com proteção ambiental e, conseqüentemente, à melhoria das condições de vida para a população do estado.

8 Referências

Almeida ME, Nascimento RSC. Geologia e evolução crustal do centro-norte do Cráton Amazônico e correlações com as províncias geocronológicas. In: Bartorelli A, Teixeira W, Brito Neves BB, organizadores. Geocronologia e evolução tectônica do continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani. São Paulo: Solaris Edições Culturais; 2020. p. 111-21.

Almeida KM. Caracterização, classificação dos solos e aptidão agrícola das terras da Fazenda Recreio, Boa Vista – RR [dissertação]. Boa Vista: Universidade Federal de Roraima; 2019. 78 p.

Barbosa RI. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa RI, Ferreira EJG, Castellón EG, organizadores. Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima. Manaus: INPA; 1997. p. 325-35.

Barbosa RI, Xaud HAM, Costa e Souza JM. Savanas de Roraima: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris. Boa Vista: FEMACT; 2004.

Barros LS, et al. Challenges to the paleoichnology research on the Tacutu Basin, Central/Northeast Amazonia, Roraima (Brazil). In: Anais do 5º International Congress on Ichthyology - ICHNIA; 2024 abr 7-12; Florianópolis, Brasil. Florianópolis: Editora da UFSC; 2024. v. 1. p. 32-3.

Benedetti UG, Vale Júnior JF, Schaefer CEGR, Melo VF, Uchôa SCP. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. Rev Bras Cienc Solo. 2011; 35:299-312. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>.

Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil: folha NA 20 Boa Vista e parte das folhas NA 21 Tumucumaque, NB 20 Roraima e NB 21. Rio de Janeiro: MME; 1975. 428 p.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento hidrológico 2006. Boletim nº 26. Brasília: CPRM; 2006. 10 p.

Falcão MT, Costa JAV. Fisiografia da paisagem e suas implicações na geomorfologia da Terra Indígena Raposa Serra do Sol – Uiramutã/Roraima/Brasil. *Rev GeoNordeste*. 2019;(1):43-59. <https://doi.org/10.33360/RGN.2318-2695.2019.i1p43-59>.

Fraga LM, Cordani U, Dreher AM, Sato K, Reis NJ, Nadeau S, De Roever E, Kroonenberg S, Maurer VC. Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. *Precambrian Res*. 2024;407:e107362. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2024.107362>.

Mendes TAA, Oliveira ACS, Almeida ME, Caxito FA, Novo TA. The structural framework of the north-central Guiana Shield: a fossil fold-and-thrust belt in northeastern Roraima state, Brazil. *J Geol Surv Brazil*. 2022;5(1):1-19. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2022.v5.n1.2>.

Menezes FBT, Wankler, FL. Sistemas deposicionais fluviais: análise estratigráfica das unidades sedimentares da formação Boa Vista, nordeste da Bacia do Tacutu, RR. *Rev Geogr Acad*. 2020;14(1):69-93.

Reis NJ, Nadeau S, Fraga LM, Betiollo LM, Faraco MTL, Reece J, Lachhman D, Ault R. Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana Shield, Northern Amazonian Craton – results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project. *Braz J Geol*. 2017;47(1). <https://doi.org/10.1590/2317-4889201720160139>.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, OLIVEIRA VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 5ª. ed. Embrapa: Brasília-DF; 2018.

Schaefer CEGR, Rezende SB, Corrêa GF, Lani JL. Características químicas e pedogênese de solos afetados por sódio do nordeste de Roraima. *Rev Bras Cienc Solo*. 1993;17:431-8.

Seabra GF. Geodiversidade e geoturismo no estado de Roraima. *Rev Casa Makunaima*. 2019;2(3).

Vale Júnior JF. Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2000. 185 p.

Vale Júnior JF. Estudo de solos das áreas de *Acacia mangium* do empreendimento Ouro Verde LTDA. In: Estudos de impacto ambiental/relatório de impacto ambiental. Boa Vista: STCP Consultoria; 2002. 350 p.

Vale Júnior JF, Schaefer CEGR. Solos sob savanas de Roraima: gêneses, classificação e relações ambientais. Boa Vista: Gráfica Ioris; 2010. 219 p.

Vale Júnior JF, Souza MIL, Nascimento PPRR, Cruz DLS. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Rev Agroambiente*. 2011;5(2):158-65. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562>.

Vaz PT, Wanderley Filho JR, Bueno GV. Bacia do Tacutu. *Bol Geociênc Petrobras*. 2007;15(2):289-97.



Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo
Núcleo Regional Sul