

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**SOLOS COM FRAGIPÃ EM REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL: DA
PAISAGEM À MINERALOGIA**

**Edsleine Ribeiro Silva
(Tese de Doutorado)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**SOLOS COM FRAGIPÃ EM REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL: DA
PAISAGEM À MINERALOGIA**

EDSLEINE RIBEIRO SILVA
Engenheira Agrônoma (UFRGS)

Tese apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Maio de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Ribeiro Silva, Edsleine
SOLOS COM FRAGIPÃ EM REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL:
DA PAISAGEM À MINERALOGIA / Edsleine Ribeiro Silva. --
2022.

89 f.

Orientador: Paulo César do Nascimento.

Coorientador: Paula Suelen Corrêa de Medeiros.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2022.

1. Fragipãs. 2. Gênese do solo. 3. Classificação do
solo. I. do Nascimento, Paulo César, orient. II.
Corrêa de Medeiros, Paula Suelen, coorient. III.
Título.

EDSLEINE RIBEIRO SILVA
Engenheira Agrônoma - UFRGS
Mestre em Ciência do Solo - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTORA EM CIÊNCIA DO SOLO


Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 27/05/2022
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 01/12/2022
Por




PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO
Orientador-PPG Ciência do Solo
UFRGS



ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo/UFRGS

ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR
PPG Ciência do Solo/UFRGS
(Plataforma MConf UFRGS)

CAROLINE VALVERDE DOS SANTOS
Departamento de Engenharia Agrícola e Solos/UESB
(Plataforma MConf UFRGS)



LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO
PPG Manejo e Conservação do Solo
e da Água/UFPel
(Plataforma MConf UFRGS)

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da
Faculdade de Agronomia/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela acolhida na minha formação, pelo ensino de qualidade e a oportunidade de vivenciar plenamente o mundo acadêmico. Agradeço à Faculdade de Agronomia e Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS pelo apoio, estrutura, recursos e pela possibilidade de realizar nossos estudos em tempos tão difíceis.

Agradeço ao meu orientador, professor Paulo César do Nascimento, pela atenção, dedicação e apoio, principalmente pela mediação das atividades acadêmicas em meio a pandemia que vivemos desde 2020. Agradeço ainda pelo incentivo diante de cada etapa nos anos de convivência e pela autonomia e confiança que me foram dadas nos semestres remotos.

Agradeço à pesquisadora Paula Suelen pelo exemplo, referência para meu ingresso na Pós-Graduação e atualmente, como minha Coorientadora, pela atenção e incentivo.

Agradeço as pesquisadoras doutoras e amigas Estéfane, Priscila e Tatiele pela colaboração e acompanhamento de todos os momentos deste Doutorado, pelas discussões, chamadas de vídeo e experiências compartilhadas em tempos de incertezas e isolamento social.

Agradeço aos colegas de grupo de pesquisa que comigo descreveram, coletaram e tornaram o trabalho de campo tão rico quanto esperei. Obrigada Marthin, Antony, Ryshardson, Jeferson e professor Élvio Giasson, pela campanha de campo!

Agradeço ao colega Daniel Krun, por conduzir junto comigo as etapas desta tese, do campo a todas as análises, e futuros estudos sobre fragipãs que estão sendo escritos.

Aos colegas que apoiaram as análises de laboratório de acordo com os protocolos restritos e em meio a pandemia, Lucas Brum e Dayana Eckert na Química do Solo, eu agradeço. Aos colegas da Mineralogia do solo Gustavo Frosi e Suane que criaram turnos extraordinários de trabalho para colaborar com nossos resultados, muito obrigada!

SOLOS COM FRAGIPÃ EM REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL: DA PAISAGEM À MINERALOGIA¹

Autor: Edsleine Ribeiro Silva

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Do Nascimento

Coorientadora: Paula Suélen Corrêa de Medeiros

RESUMO

Na Região Metropolitana de Porto Alegre existem diferentes classes de solos, alguns com características particulares como os fragipãs. Embora existam estudos detalhados sobre os solos na Região, nenhum desses registra ou explora a presença de solos com características fragipânicas. Para as identificações, classificações e registro dos fragipãs em estudo foram utilizados os conceitos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que caracterizam os fragipãs como um horizonte mineral, endurecido quando Oseco, exibindo pseudocimentação, com rigidez reversível em material úmido. Com o objetivo de registrar, classificar e apresentar a gênese de solos com horizontes fragipânicos foram descritos quatro perfis de solos em três municípios, localizados em Eldorado do Sul (P1), Viamão (P2) e Porto Alegre (P3 e P4). A partir de descrições morfológicas, análises químicas, físicas e mineralógicas foi possível a identificação de solos com feições fragipânicas, dureza e quebradicidade em estágio incipientes em Eldorado do Sul e Viamão, e fragipãs típicos em solos de Porto Alegre. Os solos fragipânicos foram localizados em bioma e clima não registrados anteriormente no país. A densidade dos solos fragipânicos é muito alta em todos os horizontes endurecidos, com valores acima do limite crítico de compactação. A gênese dos fragipãs em solos de Porto Alegre é explicada por efeitos físicos de rearranjo e acúmulo de partículas de silte e areia fina nestes solos de textura grosseira, a partir do preenchimento dos microporos do solo, formando a obstrução e diminuição de porosidade nos horizontes adensados. Os solos em estudo foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico espesso, ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico, PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico espesso fragipânico e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico fragipânico.

Palavras-chave: fragipãs, gênese do solo, classificação do solo.

¹Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (89 p.) Maio, 2022.

FRAGIPAN SOILS IN A SUBTROPICAL REGION OF BRAZIL: FROM LANDSCAPE TO MINERALOGY²

Author: Edsleine Ribeiro Silva

Adviser: Prof. Dr. Paulo César Do Nascimento

Co-Advisor: Paula Suélen Corrêa de Medeiros

ABSTRACT

In the Metropolitan Region of Porto Alegre there are different classes of soils, some with particular characteristics such as fragipans. Although there are detailed studies on soils in the Region, none of them records or explores the presence of soils with fragipanic characteristics. For the identification, classification and registration of the fragipans under study, the concepts established by the Brazilian Soil Classification System were used, which characterize the fragipans as a mineral horizon, hardened when dry, showing pseudocementation, with reversible rigidity in wet material. With the objective of registering, classifying and presenting the genesis of soils with fragipanic horizons, four soil profiles were described in three municipalities, located in Eldorado do Sul (P1), Viamão (P2) and Porto Alegre (P3 and P4). From morphological descriptions, chemical, physical and mineralogical analyses, it was possible to identify soils with fragipanic features, hardness and brittleness in incipient stages in Eldorado do Sul and Viamão, and typical fragipans in soils in Porto Alegre. Fragipanic soils were located in a biome and climate not previously recorded in the country. The density of fragipanic soils is very high in all hardened horizons, with values above the critical limit of compaction. The genesis of fragipans in soils from Porto Alegre is explained by the physical effects of rearrangement and accumulation of silt and fine sand particles in these coarse textured soils, from the filling of soil micropores, forming the obstruction and reduction of porosity in the densified horizons. The studied soils were classified in the Brazilian Soil Classification System as PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico espesso, ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico, PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico espesso fragipânico and PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico fragipânico.

Keywords: fragipans, soil genesis, soil classification.

²Doctoral thesis in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (89 p.) May, 2022.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Estudos da paisagem	3
2.2. Solos de Porto Alegre.....	5
2.3. Solos da Estação Experimental Agronômica em Eldorado do Sul	6
2.4. Solos do Distrito de Águas Claras em Viamão-RS.....	8
2.5. Fragipãs: conceito e ocorrência.....	9
2.6. Gênese de fragipãs em solos	11
3. HIPÓTESES	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. Objetivo geral	14
4.2. Objetivos específicos.....	14
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5.1 Área de estudo	15
5.2 Trabalho de campo.....	18
5.3 Análises físicas.....	19
5.4 Análises químicas.....	21
5.5 Análises mineralógicas	22
5.6 Classificação taxonômica dos solos	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
7. CONCLUSÕES.....	67
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
9. REFERÊNCIAS	70

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Características morfológicas do Perfil 1.....	32
Tabela 2. Características morfológicas do Perfil 2.....	34
Tabela 3. Características morfológicas do Perfil 3.....	36
Tabela 4. Características morfológicas do Perfil 4.....	38
Tabela 5. Atributos Físicos dos perfis P1, P2, P3 e P4.....	42
Tabela 6. Valores de Densidade de horizontes.	45
Tabela 7. Atributos químicos dos Perfis de solo.	48
Tabela 8. Composição química dos perfis de solo. Elementos determinados por fluorescência de raio-X (FRX).....	51
Tabela 9. Relação de Al ₂ O ₃ determinado por fluorescência de raio-X (FRX) sobre a argila de horizontes não fragipânicos	52
Tabela 10. Teores dos elementos obtidos por dissoluções seletivas.	53

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1:125.000).....	5
Figura 2. Mapa da região Metropolitana de Porto Alegre, com os limites dos municípios. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.	15
Figura 3. Normais climatológicas exibindo distribuição da Precipitação Acumulada (mm) e Evaporação Total ao longo do ano, na Estação Meteorológica de Porto Alegre.	16
Figura 4. Normais climatológicas exibindo temperaturas médias ao longo do ano, na Estação acumulada.	16
Figura 5. Mapa geológico CPRM, com destaque para a Região Metropolitana de Porto Alegre e o predomínio de Granito.	17
Figura 6. Mapa geológico de Porto Alegre.....	18
Figura 7. Localização dos quatro perfis de solos descritos na Região Metropolitana de Porto Alegre-RS.	19
Figura 8. Mapa da abrangência do Bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul, onde se encontram os solos com fragipã no estado.....	25
Figura 9. Paisagem regional, local e perfil do solo P1.	27
Figura 10. Paisagem regional, local e perfil do solo P2.	28
Figura 11. Paisagem regional, local e perfil do solo P3.	29
Figura 12. Paisagem regional, local e perfil do solo P4.	30
Figura 13. Mosqueados em agregados secos antes e após serem submetidos a cinco ciclos de molhamento e secagem	31
Figura 14. Imagem do perfil de solo 1 (P1), em Eldorado do Sul.....	33
Figura 15. Imagem do perfil de solo 2 (P2), em Viamão.....	35
Figura 16. Imagem do perfil de solo 3 (P3), em Porto Alegre.	37
Figura 17. Imagem do perfil de solo 4 (P4), em Porto Alegre.	39
Figura 18. Agregados de coletas indeformadas de fragipã secos e após imersão em água por duas horas.	40
Figura 19. Difrátogramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P1.	60
Figura 20. Difrátogramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P2.	61
Figura 21. Difrátogramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P3.	62
Figura 22. Difrátogramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P4.	63

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) no estado do Rio Grande do Sul (RS) está situada sobre um substrato com rochas graníticas e extensas áreas cobertas por sedimentos recentes, com relevo que varia de planícies a coxilhas e morros, onde se desenvolveram solos de diferentes classes. Alguns estudos detalhados sobre os solos existem no município de Porto Alegre e em parte de municípios da Região, porém nenhum desses levantamentos de solos registra ou explora a presença de solos com características e morfologias específicas, como solos fragipânicos.

Alguns solos com características particulares foram identificados em relevos planos do sul do município de Porto Alegre e em outros dois municípios da RMPA, mas não há nenhum registro ou descrições detalhadas disponíveis sobre estes em mapas ou estudos de solos. Estes solos, pouco explorados ou estudados, apresentam limitações de usos e manejos, impedimento de penetração de raízes, de fluxos de água e ar, caracterizando feições fragipânicas e fragipãs típicos.

Em relação as características determinantes para identificação, classificação e registro de fragipãs são utilizados os conceitos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que caracterizam os fragipãs como um horizonte mineral, endurecido quando seco, contínuo ou presente em 50% ou mais do volume de outro horizonte, usualmente de textura média, com a densidade do solo maior que a dos horizontes subjacentes e exibindo pseudocimentação, com rigidez reversível em material úmido. No Sistema Brasileiro de Classificação do Solo o fragipã é apresentado como horizonte diagnóstico subsuperficial e na nomenclatura de classes o fragipã é apresentado no quarto nível categórico (subgrupos).

Os solos fragipânicos encontrados e descritos no Brasil estão registrados no Nordeste, nas depressões dos baixos platôs da Bahia, zona úmida costeira. As descrições e dados sobre características físicas, químicas e mineralógicas nacionais são predominantemente relacionadas a estes locais de estudo no país.

A gênese dos solos fragipânicos pode ser explicada por diferentes processos de formação, onde a pseudocimentação pode ter causas variadas. Conceitualmente os fragipãs são de origem aluvial, originados pela translocação de argila que preenche poros e rearranja partículas de silte entre agregados, causando o aumento de densidade no solo. A presença de fragipãs também é explicada pela pressão de camadas saturadas que causam adensamento de horizontes, ou cimentação fraca causada por silicatos amorfos acumulados.

Considerando que ainda não existiam estudos de gênese e classificação de solos fragipânicos nas paisagens de clima subtropical e acreditando-se que os relevos associados a características climáticas e material de origem da RMPA são favoráveis à formação de solos fragipânicos, o presente estudo apresenta a proposta de pesquisa com abordagem integrada de leitura da paisagem, até o nível mineralógico para estudo de gênese e classificação de solos com horizontes endurecidos e com Fragipã, na Região Metropolitana de Porto Alegre.

O conhecimento mais detalhado sobre os solos fragipânicos é importante para avaliação de aptidão, suporte de carga, predição de fragilidades, para aplicação de técnicas de estudo de gênese e classificação de caracteres pouco conhecidos. Além disto, gera novas informações sobre incidência, caracterização, atributos químicos e físicos de fragipãs, assim como o registro de ocorrência em bioma e clima ainda não registrados anteriormente no país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Estudos da paisagem

A paisagem, enquanto objeto de estudo, foi sendo entendida de diferentes maneiras no decorrer dos tempos, já que o método de análise foi evoluindo (PUNTEL, 2006). Isto reafirma o quanto o conceito de paisagem pode variar e ser desenvolvido em diferentes áreas do conhecimento. Atualmente a paisagem é estudada pela geografia física global, não está destinada a substituir ou concorrer com os estudos especializados ou tradicionais, mas sim permitir que os estudos sejam conduzidos por profissionais de diversas áreas, para propiciar pesquisa e reflexão interdisciplinar.

A complexidade da paisagem são a forma, estrutura e funcionalidade que não podem ser isoladas, ou seja, é o sistema. Segundo Bertrand (2004), em seu trabalho sobre paisagem e geografia física global, estudar uma paisagem é antes de tudo apresentar um problema de método. Destaca ainda que não se trata somente da paisagem “natural”, mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica, assim na pedologia podemos considerar o uso e manejo dos solos com função e dinâmicas da paisagem. Afirma que a palavra paisagem é pouco utilizada, ao invés desta há o maior emprego da palavra “meio”. Isto é o que acontece na descrição morfológica de solos, onde utilizamos o “meio físico” para designar o entorno, ou a própria paisagem. Em seu trabalho, o autor expõe problemas de taxonomia, de dinâmica, de tipologia e de cartografia das paisagens.

Estudos da paisagem de forma integrada, compreendendo a combinação de elementos físicos, biológicos e antrópicos, passaram a ser realizados e publicados primeiramente pelo geógrafo francês Georges Bertrand. O autor

propõe o estudo geocossistêmico, onde apresenta interface entre o natural e o social. Para Bertrand (1995), a paisagem é um sistema, social e natural, espacial e temporal, produção material e cultural, pode ser ainda real e simbólica. Os elementos, de diferentes características sociais, psicológicas, econômicas, ecológicas, devem ser analisados em conjunto.

Mais um conceito que deve ser apresentado, pois pode aparecer em trabalhos de solos, é a Unidade de Paisagem (UP). Segundo Ross (1992), as Unidades de Paisagem se individualizam pelo clima, relevo, cobertura vegetal, solos, pelo arranjo estrutural e o tipo de litologia ou por um desses elementos. As UPs podem ser identificadas pelos aspectos que as caracterizam, bem como pelas características que as diferenciam de seu entorno, sendo esses aspectos a expressão do sistema dinâmico de vários fatores interligados, que fornecem uma relativa homogeneidade do sistema constituído (DALBEM et al., 2005). Segundo Amorim e Oliveira (2008) a delimitação de UPs apresenta grande complexidade, pois a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico permite a identificação dos atributos responsáveis pela dinâmica da paisagem, como também identificar as principais fragilidades ambientais de cada unidade, elemento essencial na gestão do território.

As paisagens dos locais de estudo devem ser observadas e descritas, principalmente nas primeiras etapas do levantamento de solo. Os registros são usados para auxiliar na descrição e posterior classificação dos horizontes do solo, sendo úteis até as etapas de enquadramento do perfil em algum sistema de classificação. Os estudos da paisagem no levantamento de solos devem ultrapassar as descrições de relevo e devem seguir as relações solo e paisagem, já consolidadas no processo de mapeamento. A percepção e o registro de características da paisagem servem de apoio na inferência de processos de formação do solo, ou processos ainda atuantes. Nas demais etapas do levantamento, os dados de análises químicas, físicas e mineralógicas ganham maior importância e são determinantes para a classificação dos perfis, mas os dados observados em campo seguem importantes e as observações sobre a paisagem complementam os dados analíticos.

2.2. Solos de Porto Alegre

Considerando os fatores formadores de solos, Porto Alegre está situada na província geológica Escudo Sul Rio-Grandense, que ocupa uma grande área na porção centro-sul do estado do RS, sendo composto por diversas litologias. As rochas que compõem o município são formadas por centenas de corpos graníticos (SCHNEIDER et al., 2008). A ampla maioria deste substrato rochoso ocupado por rochas graníticas se destaca no relevo, na forma dos notáveis morros e coxilhas na paisagem. Também podem ser encontradas em Porto Alegre áreas de planícies, compostas por sedimentos de origem aluvial e coluvial (Figura 1).

O relevo foi determinante na pedogênese dos solos do município, o que corrobora com Buol et al. (1997) que apresenta o relevo como fator importante na formação de solos, pois influencia desde o material de origem, no topoclima, nas dinâmicas erosivas e até no regime hídrico. A variabilidade dos solos do município segue um padrão de distribuição esperada segundo suas características morfológicas e posição no relevo (SILVA et al., 2015).

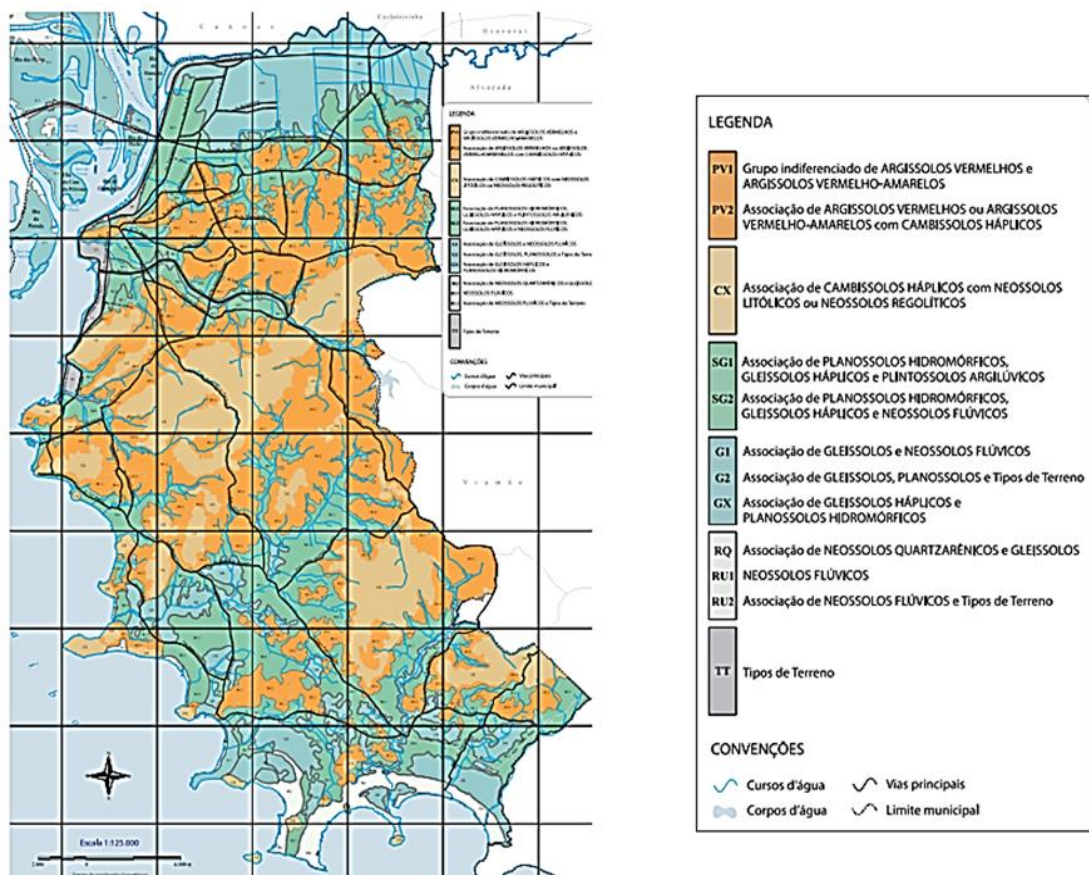


Figura 1. Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1:125.000). Fonte: Schneider et al., 2008.

As planícies de Porto Alegre podem ser encontradas nas ilhas do Delta do Jacuí, em trechos ao longo de arroios e em relevo plano como no extremo sul do município. Alguns solos de planícies passaram por alterações humanas e são classificadas como tipos de terreno (TT), mas em alguns pontos preservados da urbanização é possível encontrar associação de Gleissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos e Planossolos Háplicos. O mapa de solos do município ainda apresenta a ocorrência de outras Associações de Argissolos Vermelho-Amarelos com os Cambissolos Háplicos e Argissolo-Vermelho com Argissolos Vermelho-Amarelos (SCHNEIDER et al., 2008). Nas Planícies, trechos ao longo de arroios ou na região sul do município, a infiltração da água no solo é limitada e a erosão natural é mínima (SILVA et al., 2019), nestes locais os solos presentes são os Plintossolos e Planossolos, por exemplo.

Nas posições de relevo mais acidentados, como topo de morros, há a presença de Neossolos Litólicos, resultantes de pouca evolução do perfil. Estes solos são rasos, com cores brunadas e acinzentadas, textura cascalhenta com drenagem boa à imperfeita (SCHNEIDER et al., 2008). Os Argissolos ocorrem em relevo ondulado à forte ondulado, com horizonte B textural de cores avermelhadas ou amarelas, coerentes com a condição de drenagem favorável, com baixa atividade de fração argila e profundidade mediana (SCHNEIDER et al., 200). Esta informação é reforçada por Medeiros et al. (2013), que descreveu detalhadamente a presença de Argissolos Amarelos no Morro da Extrema, região Sudeste do Município.

2.3. Solos da Estação Experimental Agronômica em Eldorado do Sul

Os solos da Estação Experimental Agronômica da UFRGS (EEA-UFRGS) já passaram por alguns estudos, com registros e observações publicados na década de 60, no Levantamento em Série dos Solos do Centro Agronômico, no ano de 1966 (MELLO et al., 1966). Os solos desta região se desenvolveram a partir de rocha granítica, em relevo que varia de ondulado a suave ondulado e nas áreas inundáveis ou depressões de cotas mais baixas, são encontrados sedimentos aluvionares de espessura variável, conforme a bacia de deposição. Os solos das cotas mais altas e intermediárias ocupam cerca de 60% da área mapeada da EEA-UFRGS.

Nas cotas mais altas, superiores a 35 m, encontram-se os Argissolos Vermelhos distróficos, os solos com alguns horizontes brunados e horizontes avermelhados, profundos e bem drenados. Com estrutura partindo de granular em superfície até a estrutura em blocos angulares e sub-angulares nos horizontes B. Foram descritos como solos porosos com poros muito pequenos (menores que 1mm). Com transição do A para o B difusa e plana, com os maiores teores de argila da EEA-UFRGS.

Nas cotas intermediárias, de 20 a 35 m, com relevo suavemente ondulado encontram-se os solos imperfeitamente drenados com altos teores de areia grossa. Na maioria dos perfis descritos foi constatada a existência de plintitas evidenciando a influência de ciclos de redução e oxidação na formação desses solos. As cores dos solos são predominantemente brunadas em superfície e muito variáveis, mas sempre brunas ou amarelas, e geralmente, no matiz 10YR nos horizontes B. As estruturas dos solos foram descritas como granular, em blocos subangulares e angulares, sendo que alguns horizontes foram descritos como fracamente cimentados. Nestas cotas encontram-se os Plintossolos e Argissolos Amarelos.

Onde existem os relevos planos na EEA-UFRGS são encontrados solos mal drenados, provenientes de sedimentação aluvial com profundidade em torno de 1m, com presença do lençol d'água próximo ou mesmo em superfície durante certas épocas do ano, evidenciado pelas cores cinzentas no horizonte B, características da gleização. As cores predominantes nestes solos são brunadas escuras e acinzentadas, características de Planossolos.

Nas regiões de depressão formadas entre as coxilhas existem os solos mal drenados, hidromórficos, com característica principal determinada pela influência do lençol d'água com profundidade de 1m, condicionado pelo relevo. Esta influência resulta em perfis de solos com horizonte glei, com cores brunadas e acinzentas, nos matizes 10YR e 2,5Y que indicam processos de redução característicos da gleização. Há o predomínio de texturas franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e franco-argilosa, sendo estes solos representativos de duas manchas pequenas existentes na EEA-UFRGS, influenciadas por condições locais. Nestas cotas são encontrados os Gleissolos Háplicos e Planossolos Háplicos (MELLO et al., 1966).

2.4. Solos do Distrito de Águas Claras em Viamão-RS

O município de Viamão está localizado na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, com um relevo predominante plano ou com baixas declividades. Os principais grupos de solos encontrados em Viamão são Planossolos, que ocupam cerca de 43% da área do município e Argissolos que abrangem cerca de 51% do território. Com ocorrência menor que em 1% do território ocorrem os Gleissolos e Neossolo (HASENACK et al., 2007).

Na região leste deste município está localizado o Distrito de Águas Claras, onde está inserido o Assentamento de reforma agrária Filhos de Sepé e segundo o Levantamento de solos realizado neste Assentamento, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, os solos da região são classificados como Gleissolos Melânicos, Organossolo Háplicos, Planossolo Háplicos e Argissolo Vermelho (IPH, 2008).

Nas áreas de relevo plano ou leves depressões do Assentamento são encontrados os Gleissolos, com drenagem deficiente e acentuado grau de hidromorfismo, suficiente para ocasionar restrições ao uso agrícola para várias espécies. Nas cotas mais baixas, em relevo plano ocorrem os Organossolos, constituídos por horizontes orgânicos superficiais e estrutura pouco desenvolvida. Com presença de acidez da superfície até em profundidade e altos teores de Al, estes solos apresentam limitação de uso, tanto pela acidez presente, como pela fragilidade de degradação dos solos.

Em uma zona de transição entre as áreas de baixada e onduladas existe o relevo plano, onde se encontram os Planossolos Háplicos Distróficos espessarênicos com textura arenosa predominando e Gleissolos com maior conteúdo de argila. Ambos os solos apresentam drenagem restrita e são utilizados para o cultivo de arroz.

Por fim, nas cotas mais altas e bem drenadas, em relevo ondulado, encontram-se os Argissolos Vermelhos. Com textura arenosa em superfície variando até argila em subsuperfície, estes solos apresentam dureza e quebradice em alguns horizontes. Segundo o Levantamento existente, estes solos apresentam acidez, baixa disponibilidade de nutrientes disponíveis e susceptibilidade a erosão.

O Assentamento é local de desenvolvimento de vários estudos ambientais, sobre recursos naturais e território (DIEL, 2011; MACHADO et al.,

2020). A partir destes diagnósticos foi possível a obtenção de registros que indicam condições favoráveis para formação de solos com cimentação e feições fragipânicas, em horizontes B de Argissolo Vermelho.

2.5. Fragipãs: conceito e ocorrência

O fragipã é um horizonte mineral, endurecido quando seco, contínuo ou presente em 50% ou mais do volume de outro horizonte, usualmente de textura média. Pode estar subjacente a um horizonte B espódico, B textural ou horizonte Álbico. Tem conteúdo de matéria orgânica muito baixo, a densidade do solo é maior que a dos horizontes subjacentes e exibe pseudocimentação quando seco, com rigidez reversível em material úmido (EMBRAPA, 2018). O fragipã apresenta consistência firme quando úmida e consistência dura à extremamente dura quando seco. Um fragipã é usualmente mosqueado e pouco ou muito pouco permeável à água. Quando de textura média ou argilosa, normalmente apresenta partes esbranquiçadas (devido à redução) em torno de poliedros ou prismas, que se distanciam 10 cm ou mais, no sentido horizontal, formando um arranjo poligonal grosseiro. Quando imerso em água, um fragmento seco torna-se menos resistente, podendo desenvolver fraturas com ou sem desprendimento de pedaços, e se esboroa em curto espaço de tempo (SANTOS et al., 2013).

No Sistema Brasileiro de Classificação do Solo- SiBCS (EMBRAPA, 2018), o fragipã é apresentado como horizonte diagnóstico subsuperficial. Na nomenclatura de classes o fragipã é apresentado no quarto nível categórico (subgrupos), como por exemplo em “Argissolos Acinzentados Distróficos fragipânicos”. Ainda segundo o SiBCS o termo fragipã é derivado do critério *fragipan* do Soil Taxonomy, dos Estados Unidos (USDA, 2014).

No Soil Taxonomy (USDA, 2014) o termo *fragipan* é apresentado como modificado de *L. fragilis*, quebradiço e pan, significando “panela quebradiça”. O critério *fragipan* segue as mesmas características adotadas pelo SiBCS para definição de fragipã em relação a espessura e profundidade, textura e morfologia. Além disto, é apresentado junto de mais informações sobre sua conceituação, características morfológicas, pré-requisitos, identificação e gênese, no mesmo documento, diferentemente das poucas definições encontradas sobre fragipã no SiBCS.

Os fragipãs são encontrados em solos formados a partir de relevo e condições climáticas específicas, como exemplo nas depressões dos baixos platôs da Bahia, zona úmida costeira, onde Filizola et al. (2001) descrevem a evolução de fragipãs e duripãs, verificando a formação e evolução de perfis de paisagens do Tabuleiro Costeiro. Segundo Kampf e Curi (2012) a cimentação do fragipã é com frequência favorecido nas proximidades de incisões no terreno, onde a evaporação concentra a solução do solo, promovendo a precipitação da sílica.

No Brasil os estudos conhecidos sobre os solos com fragipã são realizados no Nordeste, na região litorânea. Os fragipãs e duripãs da região costeira do nordeste brasileiro são similares aos das regiões áridas, mesmo que estes ocorram tanto no semi-árido como em zonas com alta pluviosidade (FILIZOLA et al., 2001). Alguns autores atribuem o efeito cimentante do fragipã aos elementos químicos como silício, alumínio e ferro sendo determinantes na gênese (ROLIM NETO; SANTOS, 1994) e mesmo que a cimentação do solo seja originada por outro processo, a dureza é sempre presente. Esta cimentação do fragipã dificulta ou impede a penetração das raízes e da água em profundidade no horizonte em que ocorre, ou seja, os horizontes endurecidos são limitantes para alguns usos e manejos, como para agricultura (LOPES DA SILVA, 1989; OLIVEIRA NETO, 1992).

Nos Estados Unidos, por exemplo, os fragipãs ocorrem em 28 estados, em quatro ordens de solos (Alfisols, Ultisols, Inceptisols, Spodosols), todos localizados no Leste do país onde a precipitação excede a evaporação, em posições topográficas baixas, com drenagem moderada à bem drenada (BOCKHEIM; HARTEMINK, 2013).

Na Bélgica, fragipãs foram estudados em Condroz, região sudeste, onde se desenvolveram em depósitos sedimentares. Os solos com fragipãs descritos em Condroz se mostraram semelhantes, em relação a química e mineralogia, com fragipãs descritos em outros lugares do mundo, porém neste estudo foi constatada que a zona de fragipãs presente no solo se apresentava como uma camada comprimida, que pode ser resultado de fenômenos periglaciais (LOZET; HERBILLON, 1971).

No Rio Grande do Sul não existem descrições de fragipãs e recentemente, em pesquisa na Biblioteca Pública do Estado do Rio Grande do Sul- BPE, com consulta a livros, folhetos, periódicos, atlas e mapas, em dezembro de 2021, foi

constatada a inexistência de registros de solos com Fragipã na Região Metropolitana de Porto Alegre.

2.6. Gênese de fragipãs em solos

Conceitualmente os fragipãs são de natureza iluvial, originados de processos pedogenéticos relacionados à presença de hidromorfismo temporário nos horizontes superficiais, degradação do plasma argiloso e precipitação da argila em subsuperfície (NUNES et al., 2013). Segundo o autor, esta é a forma mais conhecida de gênese dos fragipãs, mas estudos apresentam que os fragipãs podem ter diferentes origens pedogenéticas ou sedimentares.

Em estudo sobre fragipã em Tabuleiro Costeiro, Corrêa et al. (2008) defende a origem pedogenética em que a translocação de argilas finas, entre horizontes ou mesmo dentro do horizonte, se acumulam após a iluviação e formam os fragipãs. Isto se confirma a partir de características micromorfológicas que apresentaram grande quantidade de feições de iluviação. Após a argila ser transportada e depositada há um rearranjo de partículas com entupimento de poros e empacotamento, se distinguindo de um simples acúmulo de argilas de um horizonte B textural.

Considerando que os fragipãs sejam resultantes do processo de iluviação, o relevo e a composição na paisagem devem ser coerentes com a movimentação de água e partículas no interior do solo. Segundo Jacomine (1974), os fragipãs são desenvolvidos preferencialmente em solos de textura arenosa e quando são formados em solos mais argilosos deve haver um horizonte com textura mais arenosa sobrejacente. Quando o teor de argila é alto, a formação do fragipã é dificultada, assim como a união entre as partículas pelos agentes cimentantes. Existe ainda a gênese de fragipãs explicada pela ação de agentes cimentantes, responsáveis pela cimentação e dureza. Segundo Norton et al. (1984), o fragipã poderia ser detectado com DCB (ditionito-citrato-bicarbonato) pois como cimentante o hidroxialuminossilicato é detectado após dissolução seletiva com DCB, esta relação seria possível. Segundo Rodrigues e Silva e Leprun (1997) a sílica e alumínio se originam da destruição de caulinitas presentes em horizontes superficiais dos solos, que permitem a lixiviação para horizontes subsuperficiais.

Segundo Kampf e Curi (2012), uma das causas do fragipã em solos, que podem ser variadas, é a cimentação fraca por silicatos amorfo acumulados,

onde a Silicificação explica a ocorrência destes horizontes no processo que consiste na solubilização e precipitação de Si, com migração e acumulação de sílica secundária produzindo a cimentação da matriz do solo. A acumulação de sílica secundária no solo favorece o desenvolvimento de camadas cimentadas, que apresentam alta densidade e cimentação aparente quando secos, mas que esboroam em água.

Segundo Ferreira et al. (1999), a gênese de alguns horizontes endurecidos está associada ao arranjo face a face de placas de caulinita, facilitada pelos baixos teores de gibbsita e sugerem ainda que a presença de gibbsita é um indicador que a formação do fragipã se deve a cimentação química e não pela ação mineralógica.

Alguns autores consideram que os fragipãs não são originados a partir da iluviação e sim são remanescentes de períodos e fenômenos sedimentares de tempos geológicos anteriores (NUNES et al., 2013). Esses autores defendem a hipótese sobre a origem sedimentar de fragipãs, analisando a presença de minerais pesados e instáveis em pãs, para identificar a presença de minerais instáveis que não teriam resistido a um processo de iluviação nos horizontes concrecionários. Concluiu-se que em sua área de estudo os fragipãs analisados não são de origem pedogenética, porque a presença de minerais pesados instáveis (biotita, granada e ilmenita) não é compatível com ambiente de iluviação. Os fragipãs seriam então, originados de estruturas sedimentares.

A origem pedogenética ou sedimentar do fragipã não modifica uma característica específica, o adensamento e a dureza no horizonte de solo. Mais uma vez o estudo da paisagem é importante pois é necessário que haja ambiente favorável para hidromorfismo do solo, acidificação do meio, liberação e lixiviação do Al, com posterior predomínio de sílica no solo, ou silificação, ou mesmo iluviação e eluviação de frações de argila, silte ou areia fina.

3. HIPÓTESES

As condições ambientais como material de origem, relevo e clima de Porto Alegre e Região favorecem a formação de solos com cimentação, dureza e fragipãs ainda pouco estudados.

A gênese dos fragipãs em solos de Porto Alegre e região se dá a partir de efeitos cimentantes relacionados aos elementos químicos como silício, alumínio e ferro, em paisagem que permite ciclos de molhamento e secagem do solo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Descrever a Gênese e classificação de solos fragipânicos, avaliando os mecanismos da pseudocimentação e dureza.

4.2. Objetivos Específicos

Registrar a incidência, avaliar e caracterizar as relações solo-paisagem em solos com fragipã em Porto Alegre e Região Metropolitana.

Avaliar a influência do ambiente na formação e ocorrência dos fragipãs, enquadrar os solos em estudo no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos e fornecer novos parâmetros de referências para fragipãs descritos no RS.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Região Metropolitana de Porto Alegre, envolvendo os municípios de Porto Alegre, Eldorado do Sul e Viamão (Figura 2).

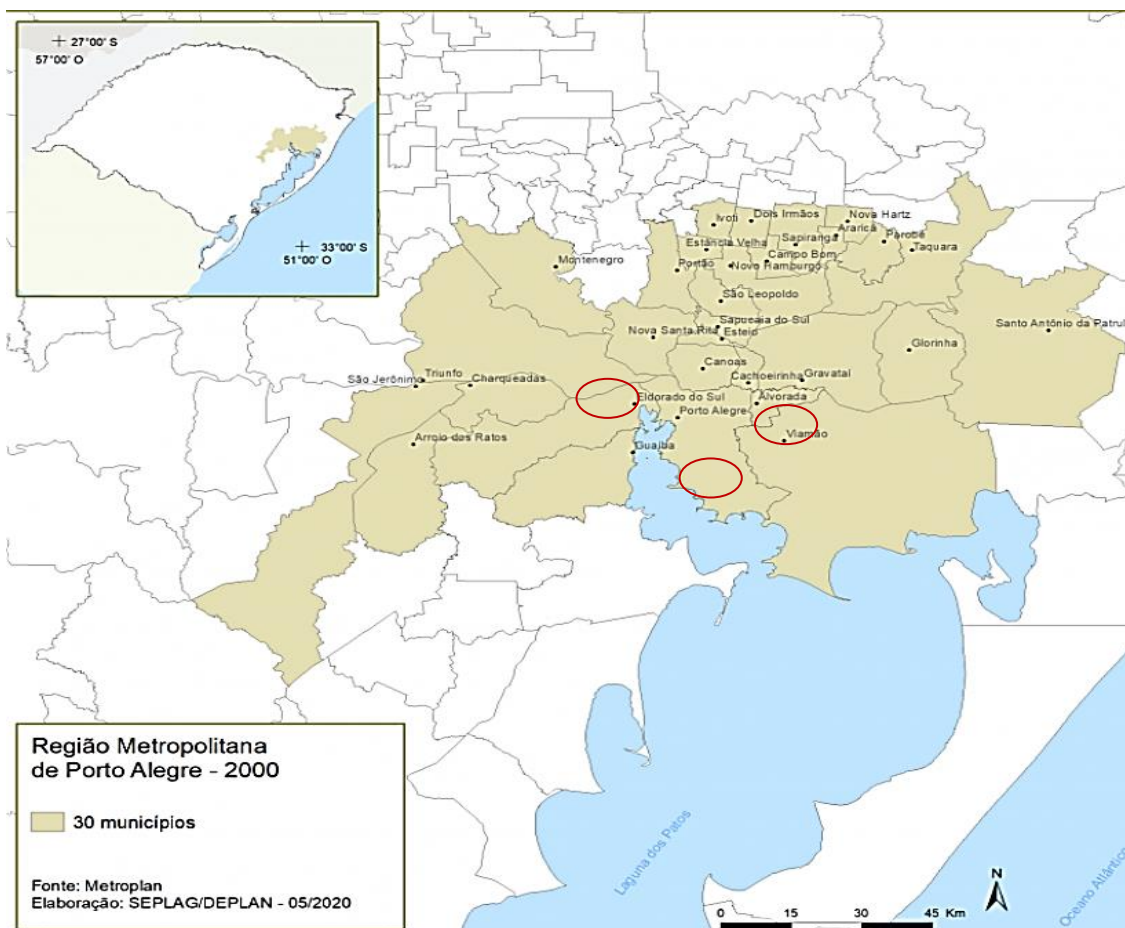


Figura 2. Mapa da região Metropolitana de Porto Alegre, com os limites dos municípios. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Fonte: BRASIL, 2020.

A região onde estão os perfis de solos em estudo está sob influência das massas de ar oriundas da região Polar e das zonas Tropical Continental e Atlântica. Essas dinâmicas de circulação das massas resultam nas temperaturas

e precipitação do clima Temperado do tipo Subtropical, classificado como Mesotérmico Úmido (classificação de Köppen, 2013). Em relação a precipitação na Região Metropolitana de Porto Alegre há uma distribuição relativamente uniforme das chuvas ao longo de todo o ano, mas com alguns períodos de estiagem no verão (INMET, 2022). A precipitação média situa-se entre 1.500 mm e 1.700mm anuais (Figura 3).

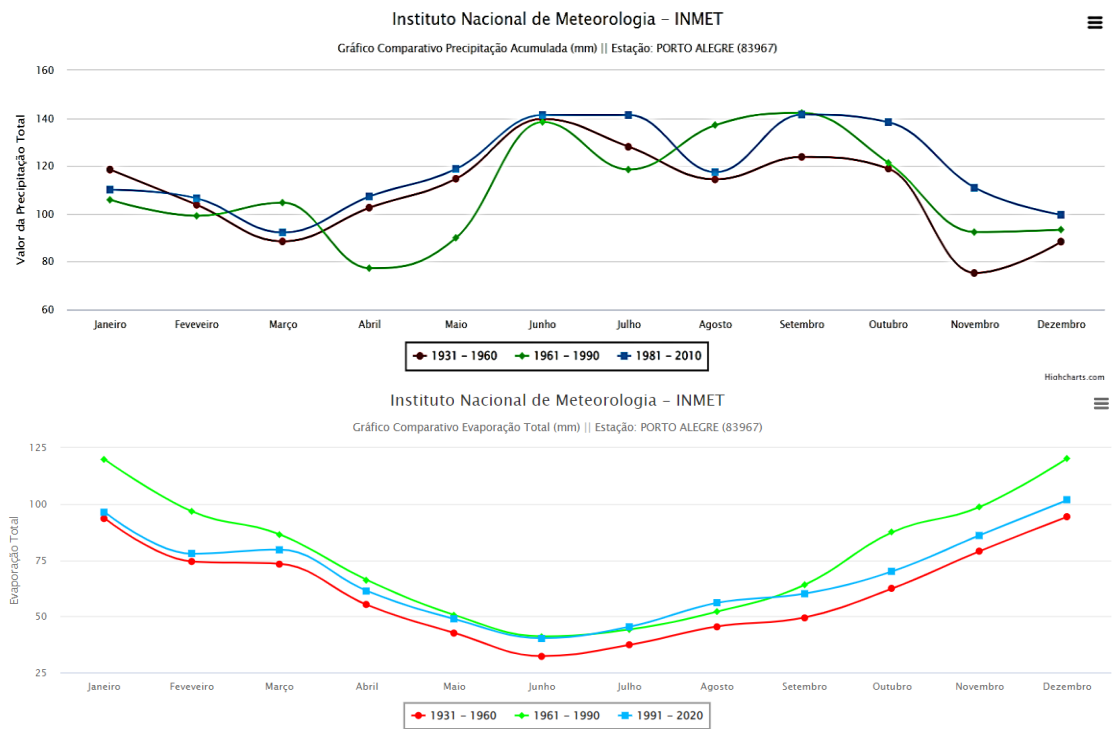


Figura 3. Normais climatológicas exibindo distribuição da Precipitação Acumulada (mm) e Evaporação Total ao longo do ano, na Estação Meteorológica de Porto Alegre. Fonte: INMET 2022.

No Estado do RS as temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos frios, com a ocorrência de geadas na Região Metropolitana inclusive. As temperaturas médias nesta região variam entre 18° e 20°C, com mínimas negativas e máximas de 40°C (Figura 4).

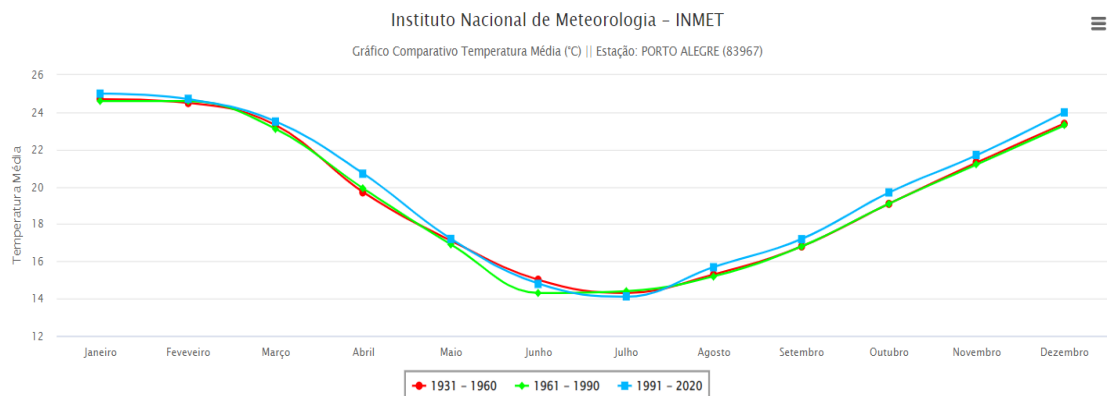


Figura 4. Normais climatológicas exibindo temperaturas médias ao longo do ano, na Estação acumulada. Fonte: INMET, 2022.

A Região Metropolitana está situada no Escudo Sul Riograndense, este ocupa uma grande área na porção central do estado do RS. Segundo o mapa geológico simplificado do RS (Atlas ambiental do RS), as principais unidades geológicas presentes na Região Metropolitana são as rochas ígneas e metamórficas do Cinturão Dom Feliciano, expostos no Escudo Sul Riograndense, também há a presença de Rochas sedimentares paleozóicas que compõem a Depressão Periférica e Depósitos sedimentares da Província Costeira. Segundo o Mapa da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (BRASIL, 2006), a litologia da Região Metropolitana é diversificada com presença de Depósitos colúvio-aluviais, representados em cinza (Figura 5), mas há predomínio de Rochas graníticas nos municípios de estudo, representadas pela cor vermelha no mapa.

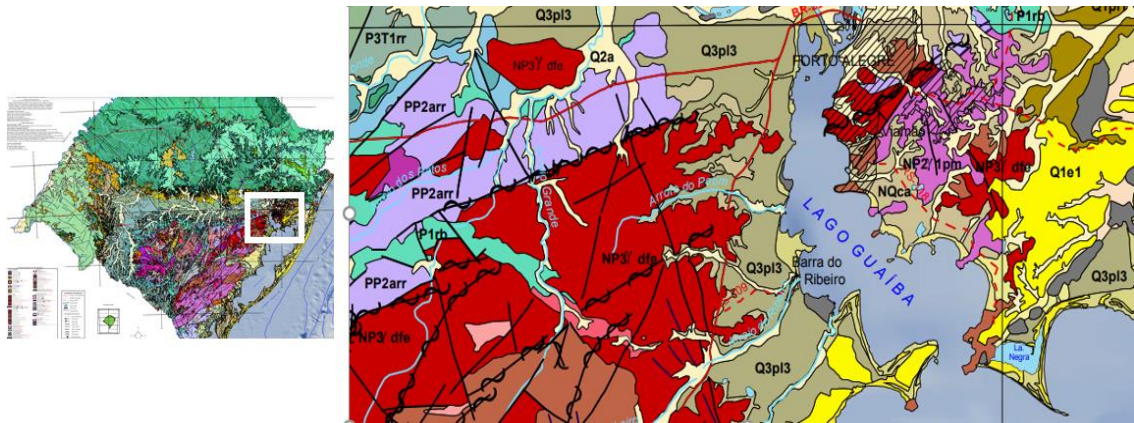


Figura 5. Mapa geológico CPRM, com destaque para a Região Metropolitana de Porto Alegre e o predomínio de Granito. Fonte: BRASIL, 2006.

Porto Alegre conta com um mapeamento geológico que apresenta a ampla maioria do substrato rochoso sob os solos, ocupada por rochas graníticas, representadas no mapa pelas cores vermelhas e roxas (Figura 6). Apesar de Porto Alegre pertencer às unidades geomorfológicas do Escudo, as praias da zona sul do município possuem semelhanças com a região da Planície Costeira. Há influência da Planície Costeira, evidenciada através de uma planície arenosa baixa, formada por sedimentos do Quaternário (Figura 6), representada na cor bege (MENEGAT et al., 2018). Estas informações nos indicam qual a composição esperada dos perfis de solos, como por exemplo na região sul de Porto Alegre, onde são buscados os fragipãs típicos.

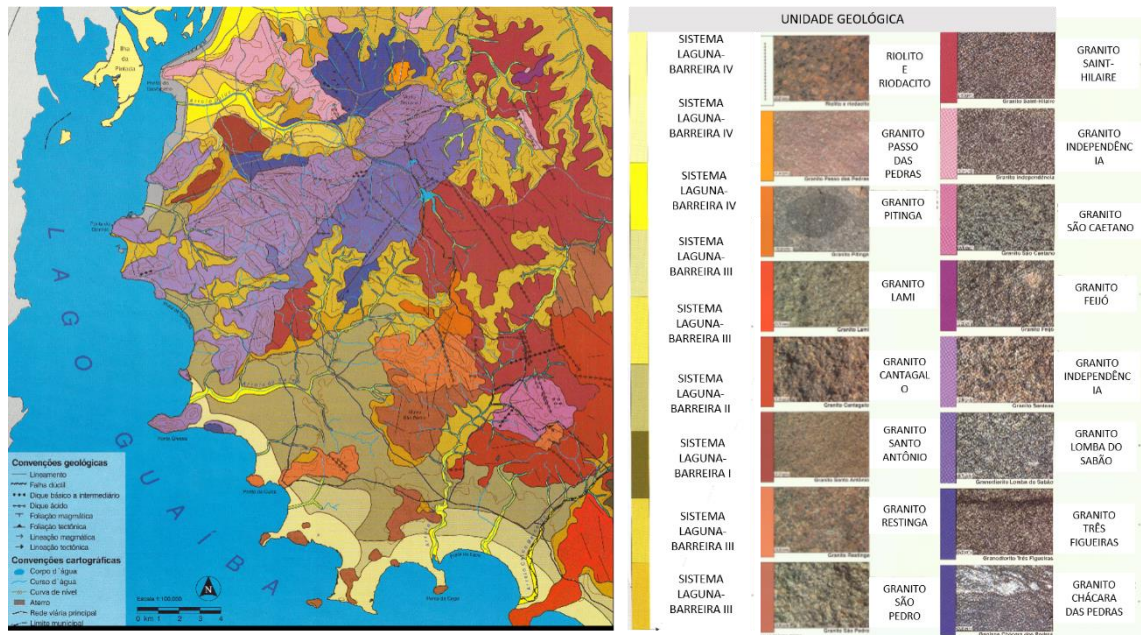


Figura 6. Mapa geológico do Atlas Ambiental de Porto Alegre. Fonte: Menegat et., 2018.

O Distrito de Águas Claras em Viamão, mais especificamente o Assentamento Filhos de Sepé, está localizado a 11 km a leste da sede do município de Viamão e a 30km de Porto Alegre, com acesso localizado pela rodovia RS 040. Os solos presentes nesta região e interessantes para o estudo são os Argissolos Vermelhos encontrados em relevo suave ou com baixas declividades.

Em Eldorado do sul está situada a Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do (EEA/UFRGS), que ocupa uma área de 1.576 hectares entre o km 38,0 e o km 41,3 da rodovia BR-290, situada na Depressão Central. Os solos da EEA também são desenvolvidos a partir de rocha granítica e o relevo varia com planícies a suave ondulação, que permitiram a formação de Plintossolos Argilúvicos com dureza e quebradice em alguns horizontes.

5.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo se iniciou com uma prospecção em Eldorado do Sul, Viamão e áreas de planícies localizadas no extremo sul do município de Porto Alegre. As áreas selecionadas para percorrimento foram escolhidas a partir de visualização de mapas, dados legados e imagens de satélite dos municípios. Durante o percorrimento, foram escolhidos pontos para realização de tradagem

e observação de características do solo, em busca de fragipãs e horizontes com consistência dura quando seco, indicando possível formação de cimentações.

A partir da prospecção de campo foram escolhidos quatro pontos para descrição morfológica dos perfis de solo (Figura 7).

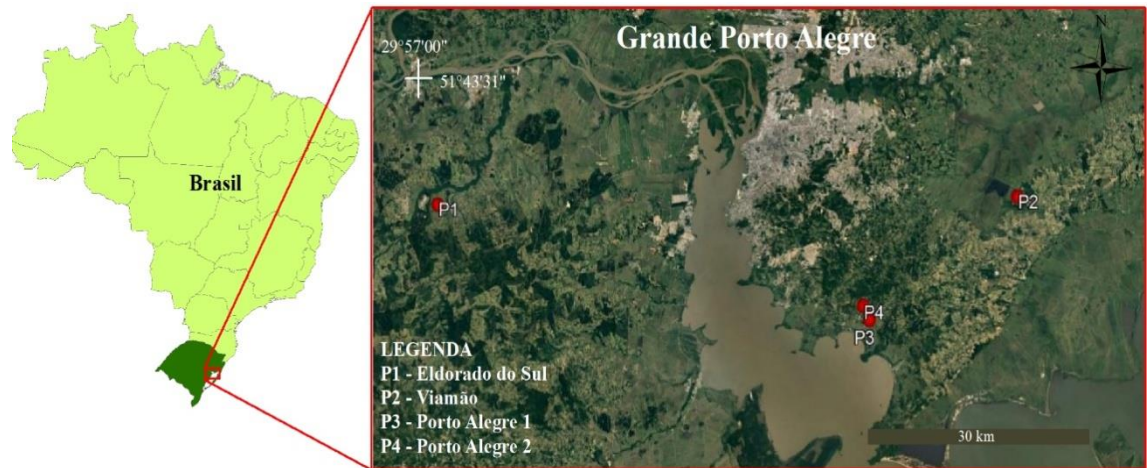


Figura 7. Localização dos quatro perfis de solos descritos na Região Metropolitana de Porto Alegre-RS.

Foram feitas descrições morfológicas dos perfis de solos, de acordo com IBGE (2015) e Santos et al. (2013). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para análises físicas, químicas e mineralógicas. Após a coleta de amostras deformadas, estas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). A TFSA foi o material de base para as análises específicas.

5.3 Análises físicas

As análises físicas foram determinadas por protocolos propostos por Teixeira et al. (2017), com base nas seguintes metodologias:

a) Amostras deformadas: Foram coletadas com auxílio de pá, diretamente de todos os horizontes dos perfis de solos.

Para determinação da composição granulométrica dos solos foi empregado o método do densímetro. O mesmo procedimento foi utilizado, sem a adição de dispersante químico (NaOH), para a determinação da argila dispersa em água (ADA), permitindo o cálculo do grau de floculação (GF) deste material (TEIXEIRA et al., 2017).

A areia foi separada por tamisação úmida em peneira de malha 0,053 mm. Para estudos de descontinuidade litológica e identificação de origem autóctone (quando o solo é formado a partir de um mesmo material de origem) ou alóctone

foram calculadas as relações areia fina/areia total (AF/AT) e o valor de uniformidade com a fórmula $(VU = [(\text{silte} + AF) / (AT - AF)]_{\text{horizonte superficial}} / [(\text{silte} + AF) / (AT - AF)]_{\text{horizonte subjacente}} - 1,0)$, seguindo os critérios usados para identificar a mudança de material de origem no perfil do solo (SCHAETZL, 1998).

Para avaliação de mosqueados e plintitas, foi realizada a separação de alguns agregados de solos dos horizontes com mais de uma cor além da matriz. Estes agregados foram submetidos a cinco ciclos de umedecimento e secagem sobre placas de *petri*, durante dois meses. O primeiro ciclo de secagem dos agregados do solo foi considerado a primeira secagem após coleta de campo. O umedecimento dos agregados de solos foi realizado com água em borrifador e pisseta (IBGE 2015).

Para avaliação de pseudocimentação dos fragipãs foi realizada imersão de amostras em água. Agregados de solos dos horizontes descritos como fragipânico foram secos ao ar, após foram submersos em Becker com água por duas horas, sendo observados a cada 15 minutos.

b) Amostras indeformadas: Foram coletadas com auxílio de anéis volumétricos em alguns horizontes dos solos e foram utilizadas para a determinação dos seguintes parâmetros:

- Densidade do solo (D_s): determinada pela relação massa do solo seco em estufa à 105^o C (M_{ss}) e o volume do anel volumétrico utilizado para a coleta das amostras indeformadas. Calculada com a fórmula $D_s \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \text{Massa do solo seco (} M_{ss}\text{) / Volume total (} V_t\text{)}$;

- Macroporosidade: após saturação as amostras (M_{sat}) foram pesadas e colocadas em mesa de tensão com coluna d' água de 60 cm (ou tensão de 6kPa) e novamente pesada para determinar o volume de água drenada (M_{60}). Calculada com a fórmula $\text{Macroporosidade (cm}^{-3}\text{cm}^{-3}\text{)} = M_{sat} - (M_{60}) / V_t$;

- Microporosidade: após sair da mesa de tensão e pesada, as amostras foram colocadas em estufa à 105^oC até atingir peso constante e pesada novamente para determinar o volume de água período após a secagem. Calculada com a fórmula $\text{Microporosidade (cm}^{-3}\text{cm}^{-3}\text{)} = M_{60} - M_{ss} / V_t$.

- Porosidade total, foi calculada pela soma da macroporosidade e microporosidade.

5.4 Análises químicas

Para determinação de teores das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), o Al^{3+} trocável, a acidez potencial ou total ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), o carbono orgânico total e os teores de enxofre e de fósforo, foram empregados procedimentos descritos em (TEIXEIRA et al., 2017) no Laboratório de Análises do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Foram realizadas análises para determinação do pH em água e em KCl em solução 1: 2,5. Para as determinações dos teores extraíveis de sódio, potássio e fósforo, foi utilizada a solução Melich-1. A acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) considerada foi obtida por extração com acetato de cálcio e titulação com NaOH, realizada no laboratório de Química do Departamento de Solos. O teor de carbono orgânico do solo foi obtido pela oxidação do C da matéria orgânica, com redução de dicromato de potássio em ácido e temperatura elevada.

Foram gerados dados, calculados pelas seguintes fórmulas: capacidade de troca de cátions [$\text{CTCpH } 7,0 = \text{S} + (\text{Al} + \text{H})$], atividade da fração argila ($\text{ATA} = \text{CTCpH } 7,0 * 1000 / \text{conteúdo de argila g kg}^{-1}$), saturação por alumínio ($m = \text{Al}^{3+} * 100 / \text{S} + \text{Al}^{3+}$), porcentagem de sódio trocável ($\text{PST} = \text{Na}^+ * 100 / \text{CTCpH } 7,0$) e a saturação por bases ($V = \text{S} * 100 / \text{CTCpH } 7,0$) (SANTOS et al., 2018).

Para determinação do teor de Fe relativo aos óxidos de ferro pedogênicos foi realizada a dissolução seletiva com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB). Para isto 0,2 de g de TFSA foi acondicionado em tubo Falcon com 40 ml de solução ditionito-citrato bicarbonato de sódio, com adição de 1g de ditionito em três momentos do aquecimento em banho-maria (0,33 g a cada adição) a cada 15 minutos, sob aquecimento de 80 °C. Nos horizontes de solo com sufixo t (Bt) foram realizadas duas extrações consecutivas, conforme descrito no protocolo desta análise. Após, a solução resultante do banho-maria foi centrifugada a 3.000 rpm por 15 minutos (MEHRA; JACKSON, 1960).

Para extração do teor de ferro relativo aos óxidos de ferro de baixa cristalinidade, Fe complexado com a matéria orgânica e os aluminossilicatos de baixa cristalinidade foi realizada a dissolução seletiva com oxalato de amônio em concentração de 0,2 mol L⁻¹ com pH 3,0, no escuro. Assim nesta extração os óxidos de ferro dos argilominerais cristalinos não são extraídos (SCHWERTMANN, 1964). Para isto 0,2 de g de TFSA foi acondicionado em tubo Falcon, com adição de 40 mL de solução de oxalato de amônio, sendo agitados durante 2 horas no escuro. O extrato foi obtido após centrifugação a 2.000 rpm por 5 minutos (COSTA; BIGHAM, 2009; IBGE, 2015). Para leitura dos teores

contidos nos sobrenadantes, resultados das dissoluções seletivas, houve a determinação por espectroscopia de absorção atômica (EAA). Foram obtidas as relações Fe_o/Fe_d utilizadas para indicar a cristalinidade dos óxidos e o grau de intemperismo dos solos.

Para determinação semi-quantitativa da composição química elementar dos solos foi empregada a análise de Fluorescência de Raios-x (FRX). Esta análise é indireta e não destrutiva de amostra, se baseia na reação da superfície das partículas aos raios-X e é capaz de fornecer dados de elementos que não são lidos nas análises convencionais, por exemplo. Para isto amostras de todos os horizontes de solos em estudo foram moídas, misturadas com cera para confecção de pastilhas e analisadas em aparelho WDXFR_-S8 Tiger (Bruker).

5.5 Análises mineralógicas

Para extração das frações areia, silte e argila foi utilizado o peneiramento úmido. Para isto, 50 g de TFSA de cada horizonte foi adicionado em snapcap com adição de 300 ml de água e 20 mL de solução NaOH 1 mol L⁻¹. O snapcap foi agitado manualmente e permaneceu por uma noite em repouso. Após foi submetido a agitação em agitador por quatro horas. O conteúdo retirado do snapcap foi peneirado, em peneira com malha de 0,053 mm, lavado com água e fração retida na peneira, a areia foi acondicionada em latas e secas em estufa. O material e solução que passou pela peneira foi acondicionado dentro de proveta de 1 L. A fração argila foi coletada da proveta, por sifonamento, após o tempo necessário para sedimentação, segundo Lei de Stokes. A argila coletada foi floculada com solução CaCl 2 Mol L⁻¹ e lavada com álcool 50%. Após foi seca em estufa e moída em gral de ágata. A fração silte foi coletada após extração de argila, da suspensão de água e solo restante na proveta de 1 L. As frações em pó, não orientadas foram acondicionadas em pastilhas. Para estas amostras em pó foram pesados 0,73 g de argila, 0,64 g de silte e 1,9 g de areia, para leitura em Difrátômetro de raios X (DRX). As amostras foram irradiadas no difratômetro (Bruker D2 Phaser) no intervalo de 4 a 50 °2θ, com velocidade de varredura de 2° 2θ min⁻¹. Após todas as leituras em DRX, arquivos de dados foram extraídos e convertidos para serem tratados em Excel. Após foram gerados gráficos com as leituras de cada fração, com todos os horizontes de cada perfil. Após esse procedimento, os minerais foram identificados de acordo com Brindley e Brown (1980).

5.6 Classificação taxonômica dos solos

A partir dos resultados obtidos nas análises apresentadas, foi possível o enquadramento dos perfis de solo em classes estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS; SANTOS et al., 2018). Os solos foram classificados até quarto nível categórico, incluindo informações sobre processos de formação, características morfológicas, químicas e mineralógicas. Para esta Classificação Taxonômica foram considerados dados sobre sequência de horizontes, espessura, cor, granulometria, consistência, estrutura e transição dos horizontes. Para a classificação no segundo nível categórico, os solos foram caracterizados os processos pedogenéticos atuantes, presença, ausência ou diferenciação de horizontes diagnósticos. Para a classificação no terceiro e quarto nível categórico, os solos foram nomeados e foram considerados os dados sobre características químicas relacionadas à fertilidade do solo (saturação por bases, atividade da fração argila, saturação por sódio e saturação por Al.), presença de dureza e pseudocimentação.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Paisagens predominantes

Todos os perfis de solos em estudo pertencem a Região Metropolitana de Porto Alegre, por estarem próximos geograficamente apresentam alguns fatores de formação semelhantes, como o clima por exemplo. Porém as formas, funções, estruturas e dinâmicas das paisagens de cada perfil apresentam algumas diferenças, que propiciaram a formação dos diferentes tipos de solos apresentados.

A proposta de abordagem incluindo elementos da paisagem, além da descrição morfológica típica, torna as informações sobre os solos multidisciplinares. Também visa gerar mais informações sobre o caráter fragipânico, que ainda é pouco descrito e estudado no estado do RS.

Partindo dos fatores de formação em comum para todos os solos, como o clima Temperado do tipo Subtropical com chuvas distribuídas ao longo do ano, onde se desenvolveram os solos fragipânicos do estado, o RS apresenta grandes diferenças em relação ao clima de outros locais com solos fragipânicos do Brasil, como nos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Então é possível afirmar que o caráter fragipânico de solos no Brasil é formado sob diferentes climas.

O Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul chama de "Grandes padrões de Paisagem" (RIO GRANDE DO SUL, 2004) as informações sobre os biomas, tipos de solos e macrozoneamento ambiental apresentados a seguir. Essas informações são importantes para enriquecer a descrição dos locais de estudos sobre os fragipãs no Estado e para relacionar à diversidade de paisagens em que o caráter fragipânico pode estar ocorrendo no país.

O Bioma de domínio sobre os locais deste estudo é o Pampa, cuja ocorrência no Brasil é restrita ao Rio Grande do Sul (Figura 8). No Pampa há o predomínio de vegetação de gramíneas, um verdadeiro ecossistema campestre (CSR/IBAMA, 2022), com alguns arbustos entre florestas mesófilas, florestas subtropicais (especialmente floresta com araucária) e florestas estacionais. Solos fragipânicos ainda não haviam sido registrados neste bioma e os estudos atuais podem relacioná-los a estas paisagens.

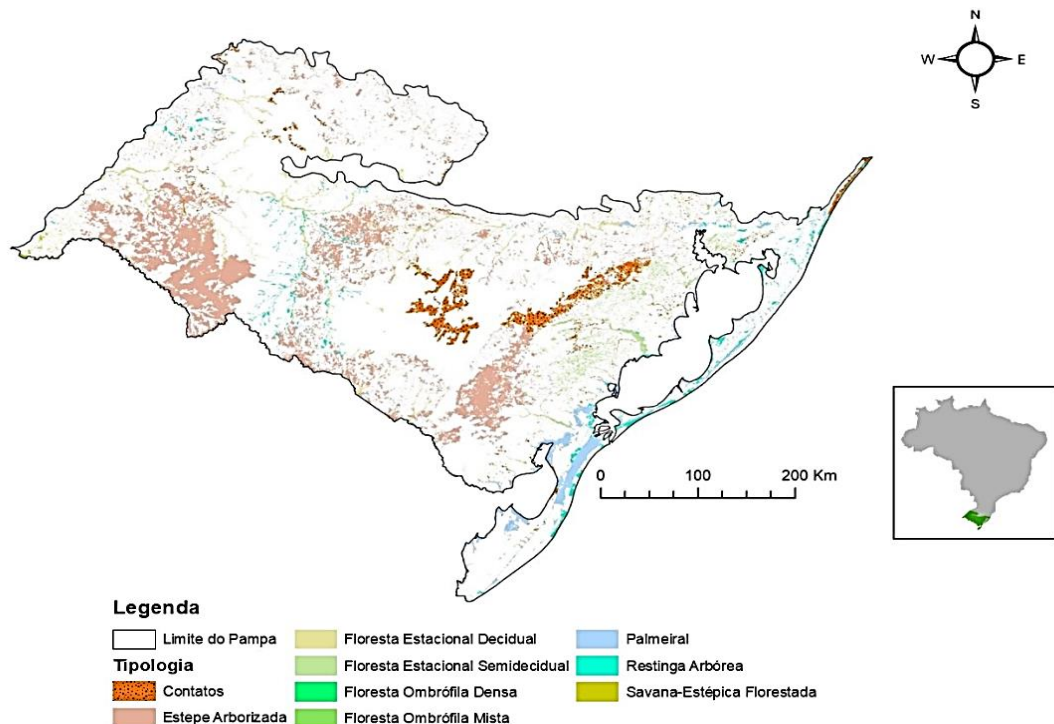


Figura 8. Mapa da abrangência do Bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul, onde se encontram os solos com fragipã no estado. Fonte: Serviço Florestal Brasileiro, 2022.

Em relação a geomorfologia dos locais de estudo na RMPA, com destaque para o perfil 3 (P3) e perfil 4 (P4) em Porto Alegre, existem estudos consolidados, como Compartimentos de relevo do município segundo Moura & Dias (2012). A caracterização morfométrica de Porto Alegre mostra áreas com baixa declividade (<2%) onde esses perfis (P3 e P4) estão localizados. De acordo com a descrição da compartimentação das formas de relevo segundo a taxonomia de Ross (1992), os solos fragipânicos estão em áreas referentes à

Morfoescultura da Planície ou Terras Baixas Costeiras, sob o Padrão de forma de Planície Fluvio-Lagunar. Os solos formados nesta região são os Planossolos, Gleissolos e Plintossolos (MOURA & DIAS, 2012). Considerando a relação entre os elementos da Paisagem e os processos atuantes no solo, algumas propriedades são esperadas. Segundo Ruhe (1996) e seu esquema de vertente da paisagem, os mosqueados e fragipãs ocorrem em solos com uma drenagem moderada, quando comparada aos solos das partes mais baixas com drenagem restrita (equivalente a planície de Ross), evidenciando características de maior desenvolvimento do perfil.

A partir deste contexto de uso, ocupação e funções, os solos em estudo estão inseridos em paisagens específicas, lidas segundo Santos et al. (2013), no momento da descrição morfológica, registradas nos apêndices e apresentadas a seguir.

O Perfil 1 (P1), localizado em Eldorado do Sul, está em relevo plano, com desnivelamentos muito pequenos, que não ultrapassam 3%. A Pedregosidade é insignificante, sem ocorrência de matacões ou calhaus, o que classifica o local como não pedregoso. A Rochosidade, que se refere a proporção relativa de exposições de rochas, por afloramentos ou ocorrência de matacões, é classificada como não rochosa, por apresentar menos de 2% desta composição no solo. A Erosão é não aparente, por não haver sinais de erosão eólica, laminar ou em sulcos no local do perfil. A Drenagem do P1 é Imperfeitamente drenada, com água removida lentamente do solo, de modo que permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Apresenta mosqueados a partir da profundidade 70 cm.

A vegetação, segundo a utilizada nos levantamentos pedológicos de Santos et al. (2013), é classificada como Campestre-Pampas, com predomínio de uso e manejo de pastagens nativas, sem vegetação de maior porte. O uso da área, no momento, é como área experimental, com instalação de pastagens e lavouras anuais na região. As raízes presentes são relacionadas a vegetação campestre, com grande presença apenas nos centímetros mais superficiais do solo (Figura 9).

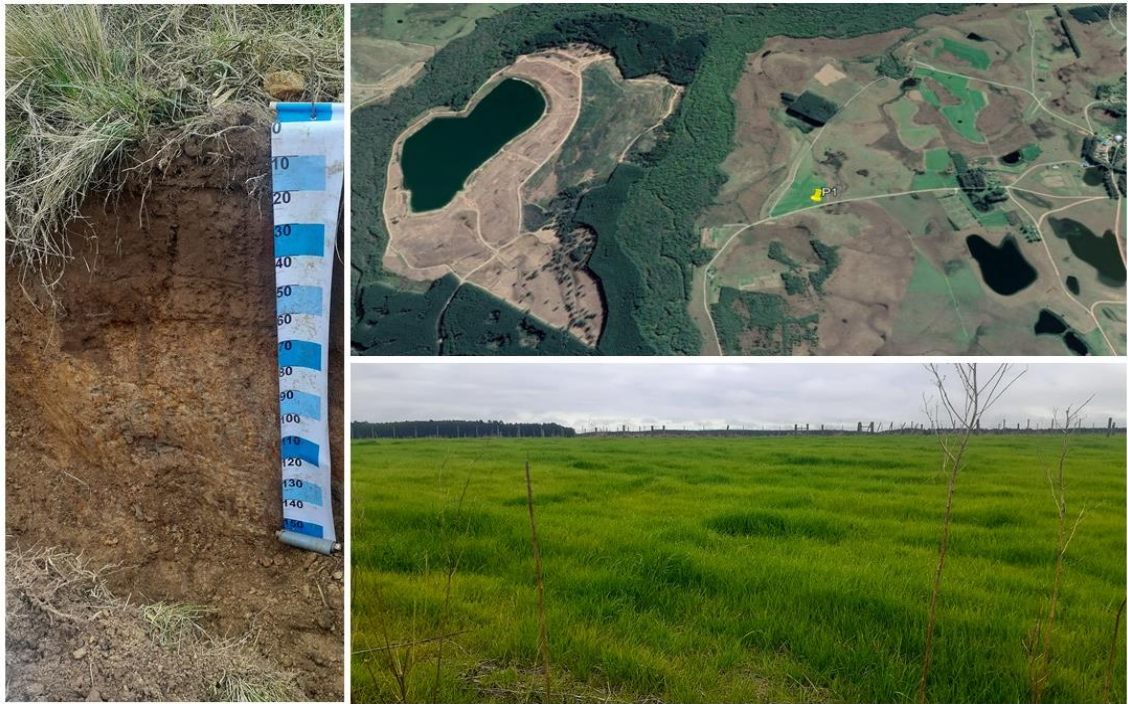


Figura 9. Paisagem regional, local e perfil do solo P1.

O Perfil 2 (P2), localizado em Viamão, está em relevo suave ondulado, com declives suaves, de 3 a 8%. A Pedregosidade é insignificante, sem ocorrência de matacões ou calhaus, o que classifica o local como não pedregoso. A Rochosidade é classificada como não rochosa, sem afloramentos ou matacões. A Erosão é não aparente, com uso do solo com cultura perene, com cobertura tanto de vegetação como de matéria seca. A classe de drenagem do P1 é bem drenado, com água removida do solo com facilidade, porém não rapidamente. Este perfil de solo não apresenta mosqueados, as cores dos horizontes são uniformes, o que confirma que há remoção da água sem acúmulo e sem ação do hidromorfismo (SANTOS et al., 2013).

A vegetação primária original do local não está mais presente e segundo nomenclatura utilizada para os levantamentos pedológicos, não há classe para espécies cultivadas. No local há o predomínio de florestamentos de eucaliptos manejado. As raízes presentes são relacionadas à vegetação manejada no local, com sistema radicular pivotante das espécies arbóreas e com poucas raízes fasciculadas nos horizontes mais superficiais (Figura 10).

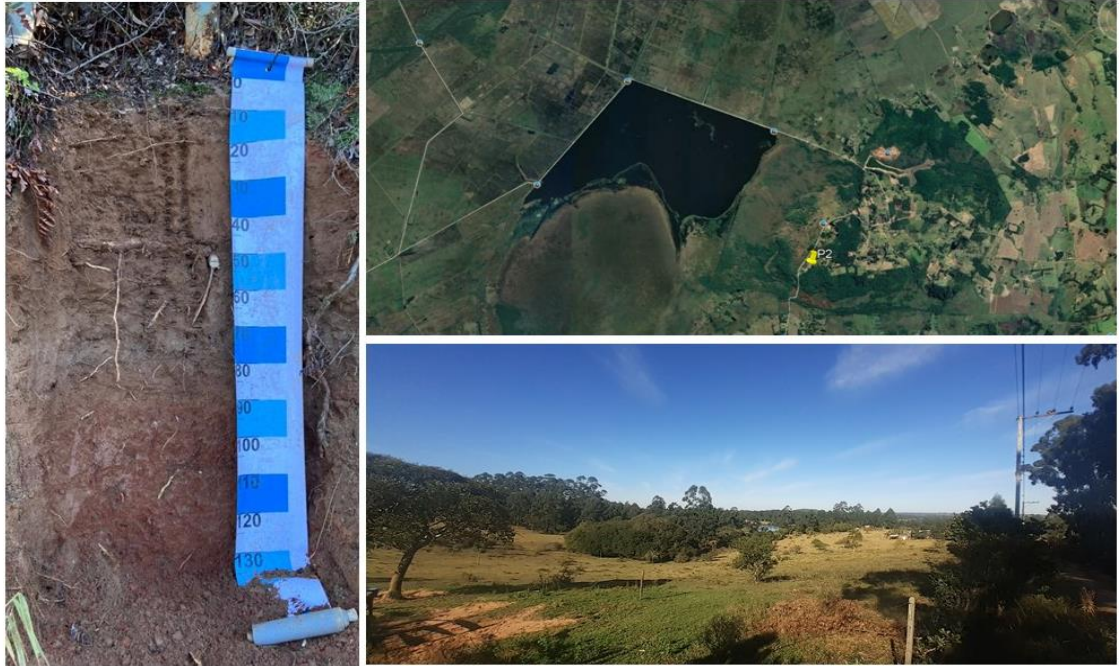


Figura 10. Paisagem regional, local e perfil do solo P2.

O Perfil 3 (P3), localizado em Porto Alegre, está em relevo plano, com desnivelamentos muito pequenos, que não ultrapassam 3%. A Pedregosidade é insignificante, sem ocorrência de matacões ou calhaus, o que classifica o local como não pedregoso. A Rochosidade é classificada como não rochosa, por apresentar menos de 2% desta composição no solo. A Erosão é não aparente, por não haver sinais de perdas de solo que é mantido com cobertura de gramíneas no local do perfil. O perfil 3 é Imperfeitamente drenado, com água removida lentamente do solo, de modo que permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Apresenta mosqueados a partir da profundidade 80 cm e é possível observar o acúmulo da água acima de horizonte cimentado (Btx1). Este e demais horizontes cimentados se apresentam como uma camada de permeabilidade lenta, o que cria impedimento de infiltração ao longo da profundidade do perfil de solo. Esta dinâmica pode ser observada diretamente no perfil de solo quando exposto, ou com a saturação percebida nos horizontes superficiais.

A vegetação, segundo a utilizada nos levantamentos pedológicos, é classificada como campestre-Pampas, com predomínio de uso e manejo de pastagens, de campo nativo, sem vegetação de maior porte. As raízes presentes são relacionadas à vegetação campestre, com abundância presente, mas apenas nos centímetros mais superficiais do solo (Figura 11).

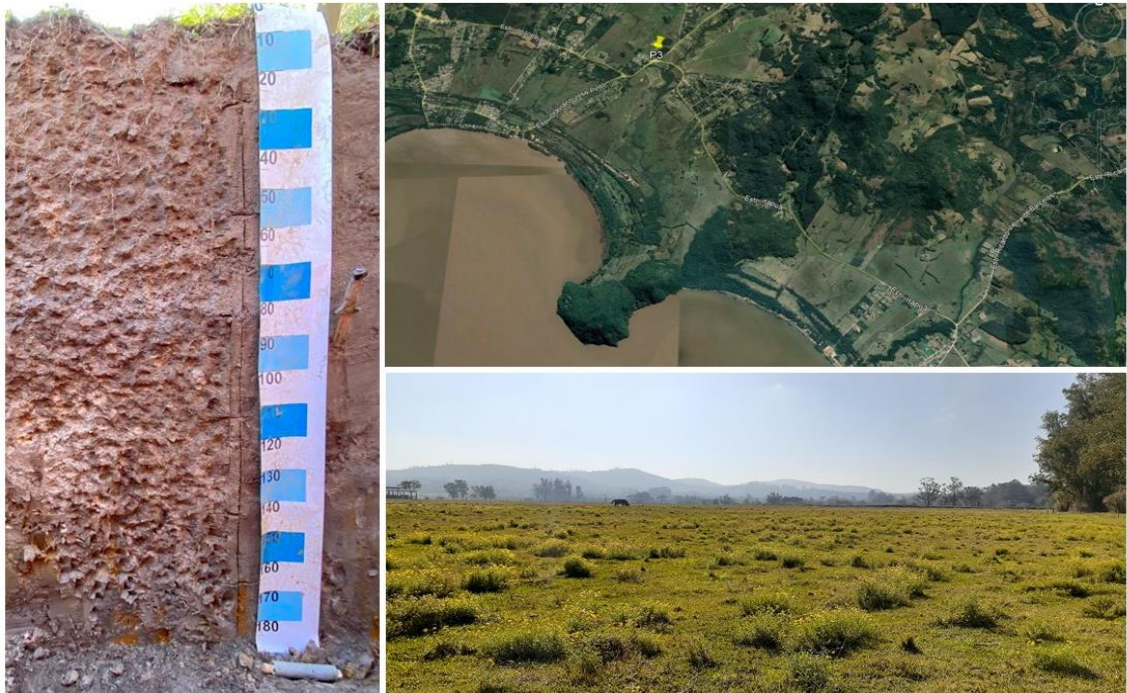


Figura 11. Paisagem regional, local e perfil do solo P3.

O Perfil 4 (P4), está em relevo plano, com desnivelamentos muito pequenos, que não ultrapassam 3%. A Pedregosidade é insignificante, sem ocorrência de matacões ou calhaus, o que classifica o local como não pedregoso. A Rochosidade é classificada como não rochosa. A Erosão é não aparente, por não haver sinais de erosão, com cobertura de gramíneas protegendo a superfície no local do perfil. O perfil 4 é imperfeitamente drenado, com água removida lentamente do solo, de modo que permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Apresenta mosqueados a partir da profundidade de 110 cm. Outra dinâmica percebida, relacionada a drenagem, é o acúmulo de água sobre os horizontes cimentados e a evidente diminuição de permeabilidade e drenagem nos horizontes subjacentes, imediatamente abaixo ao limite inferior do horizonte Ex. Desta forma se verifica até a destruição da estrutura do horizonte presente acima do horizonte cimentado Btx1, diante da saturação do horizonte Ex. Além de translocação lateral interna de água.

A vegetação primária original do local não está mais presente, o solo do local está recoberto por gramíneas, plantas de cobertura que cumprem a função de proteção da superfície do solo e garantem a presença de raízes em grande quantidade, fasciculadas, presentes apenas nos centímetros mais superficiais do solo, relacionadas à vegetação campestre (Figura 12).

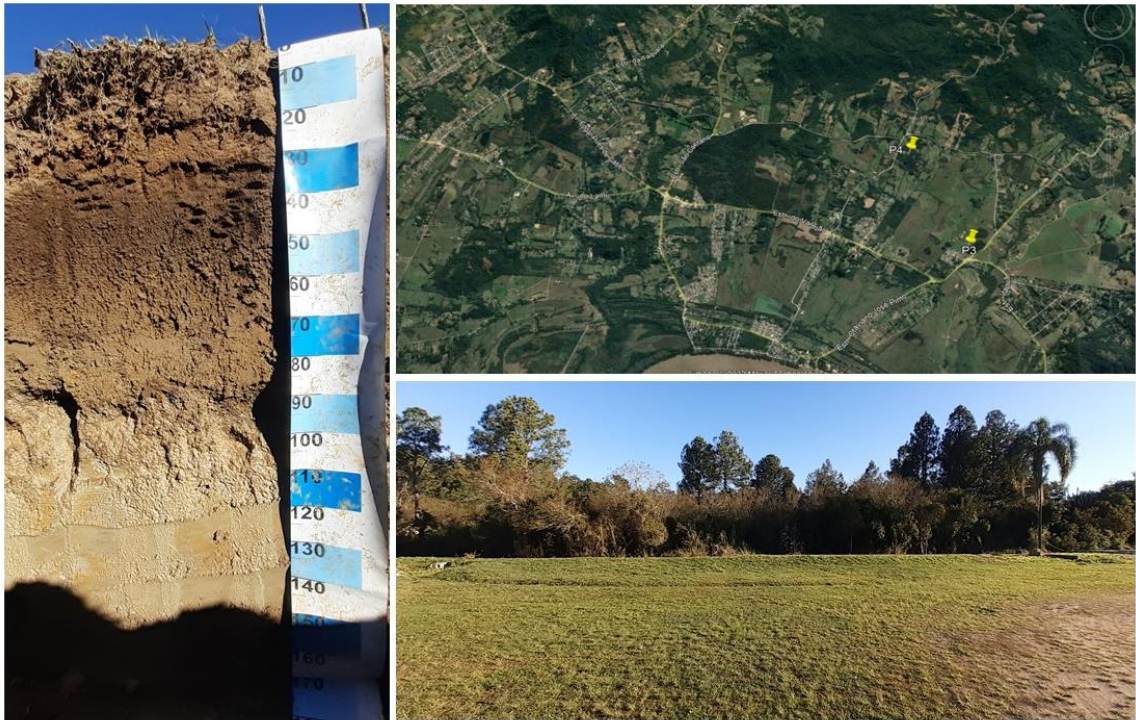


Figura 12. Paisagem regional, local e perfil do solo P4.

6.2 Morfologia dos perfis de solos

As características morfológicas dos quatro perfis de solos estudados estão apresentadas nas tabelas 1 a 4 e as descrições completas dos perfis de solo estão nos apêndices. Todos os perfis estudados apresentaram profundidades superiores a 100 cm e são considerados profundos, por não apresentarem contato lítico à profundidade menor que 100 cm (SANTOS et al., 2018). Em relação à consistência molhada dos horizontes, houve a relação direta da plasticidade e pegajosidade com as respectivas classes texturais, onde os horizontes com consistência plástica e pegajosa são aqueles mais argilosos. Os horizontes não plásticos e não pegajosos são aqueles subsuperficiais com classe textural franco arenosos.

Alguns horizontes dos perfis P1, P3 e P4 apresentaram cores mosqueadas e concreções ferruginosas, e foram investigados em maior detalhe

para detecção de plintitas. Foram avaliadas as concreções de cores vermelhas e amarelas, após cinco ciclos de umedecimento e secagem, durante dois meses (Figura 13).

As formações inclusas na cor matriz do solo, presentes nos horizontes Btf1, Btf2 e BC em P1, apresentaram resistência suficiente para serem classificadas como plintitas e não são considerados apenas mosqueados, pois se mantiveram firmes e destacáveis após os sucessivos molhamentos e secagens. Enquanto os demais horizontes com mosqueados em P3 (Btx2 e Bt) e em P4 (Btx1 e Btx2) apresentaram desestruturação e dissolução das concreções coloridas (IBGE, 2015).

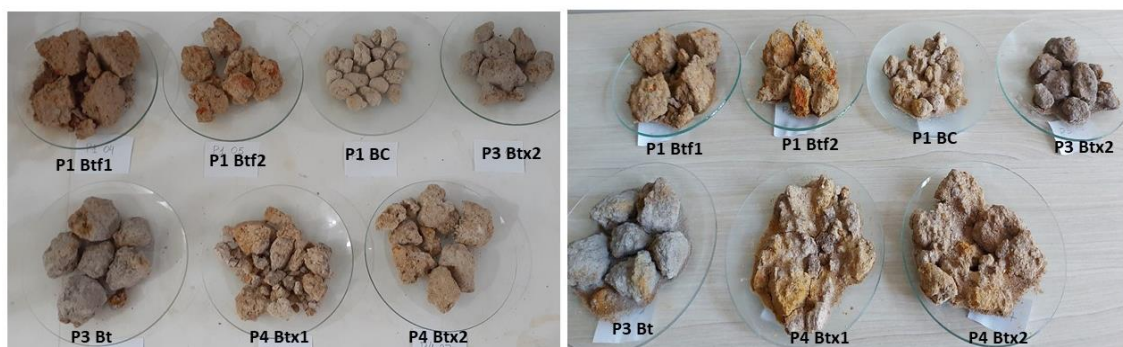


Figura 13. Mosqueados em agregados secos antes (esquerda) e após serem submetidos a cinco ciclos de molhamento e secagem (direita).

O perfil 1 (P1) apresentou sequência de horizontes A1, A2, BA, Btf1, Btf2, BC (Tabela 1). Existe em P1 a predominância de amarelo, caracterizado pelo matiz 10 YR presente em todos os horizontes subsuperficiais e matiz 7,5 YR nos horizontes superficiais. Segundo Kämpf e Schwertmann (1983), estas cores (amarelas) estão relacionadas à presença de óxidos de ferro, como goethita (FeOOH), sendo predominante de ambientes úmidos e de temperaturas baixas. São encontrados mosqueados no horizonte Btf1, Btf2 e BC. Os mosqueados estão relacionados aos processos de redução e oxidação que ocorrem no solo com classe de drenagem imperfeitamente drenado (SANTOS et al., 2018), em locais com oscilação de lençol freático, ciclos de umedecimento variados, ou por presença de materiais em diferentes estágios de alteração. Neste caso, os mosqueados do perfil P1, que foram classificados como plintitas, estão associados à drenagem imperfeita presente na área, após a avaliação apresentada. As plintitas presentes em Btf1, Btf2 e BC, foram evidenciadas desde o campo, sobretudo a partir das cores destes horizontes, com mosqueados abundantes, pequenos e distintos, com quantidade superior a 20%.

Tabela 1. Características morfológicas do Perfil 1.

Hor	Prof	Cor úmida Matiz- Mosqueado		Transição	Estrutura	Consistência molhada	Classe textural
P1 – ELDORADO DO SUL							
A1	0-20	7,5YR 3/2	-	Clara e plana	Moderada Pequena Granular	Lig.Plástica Não Pegajosa	Areia franca
A2	20-55	7,5YR 3/2	-	Clara e plana	Moderada Média Granular	Lig.Plástica Não Pegajosa	Areia franca
BA	55-70	10YR 4/4	-	Clara e plana	Moderada Média Bloco	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco arenosa
Btf1	70-95	10YR 5/3	10R 4/8 7,5YR 5/8	Gradual e plana	Média Grande Blocos	Não.Plástica Lig. Pegajosa	Franco arenosa com cascalho
Btf2	95- 130+	10YR 5/2	7,5YR 5/8 10R 4/8	Gradual e plana	Forte Grande Blocos	Não.Plástica Lig. Pegajosa	Franco arenosa com cascalho
BC	135- 160+	10YR 6/2	10YR 5/8	-	Grande Muito Forte Blocos	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco arenosa

Hor.: Horizonte; Prof,: Profundidade; Lig.: Ligeiramente.

A textura variou de areia franca em superfície até franco arenosa no horizonte mais profundo, com pequeno incremento de argila percebido em Btf1 e horizontes subsuperficiais. A estrutura dos horizontes apresentou maior desenvolvimento em profundidade, que variou de moderada, granular, pequena em subsuperfície até forte em blocos muito grandes. A Consistência úmida firme, em destaque para este estudo, foi verificada nos horizontes Btf1, Btf2 e BC, onde se verificou dureza e quebradicidade na estrutura, ambas detectadas nos horizontes plínticos e logo abaixo destes (Figura 14).

Alguns sufixos são empregados na descrição morfológica para enriquecer as informações sobre os horizontes com características específicas, como o “f” de Btf1, por exemplo. O sufixo “f” indica presença de material plântico no horizonte (SANTOS et al., 2013).

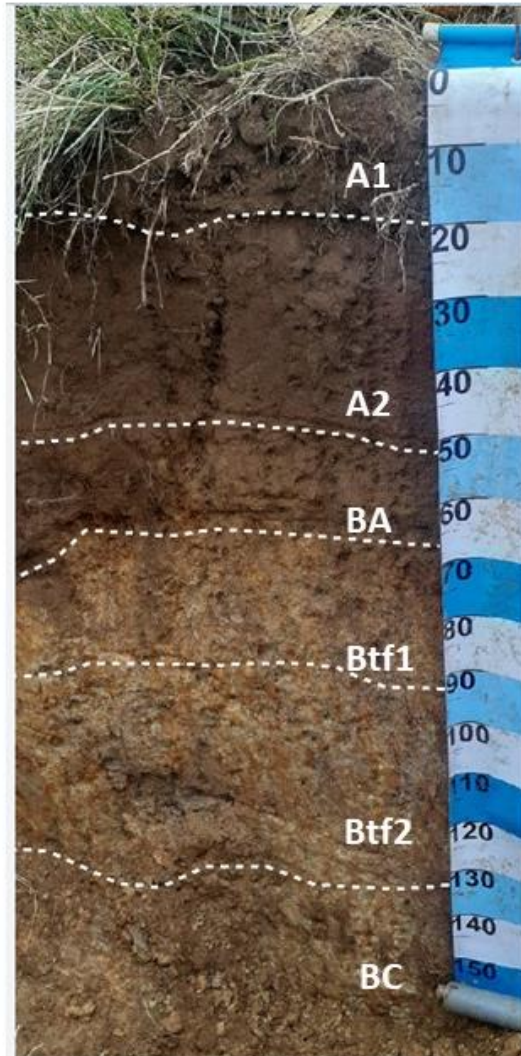


Figura 14. Imagem do perfil de solo 1 (P1), em Eldorado do Sul.

O perfil 2 (P2) apresentou sequência de horizontes A1, A2, E1, E2, EB, Bt1, Bt2 (Tabela 2). Foi verificada em P2 a predominância de cor 7,5 YR presente em todos os horizontes até a profundidade de 90 cm. Os horizontes Bt1 e Bt2 apresentaram cores 2,5 YR $\frac{3}{4}$ e 2,5 YR $\frac{3}{6}$ respectivamente. Não foram constatados mosqueados ou outras cores além da matriz nos horizontes deste perfil, indicando boa drenagem e homogeneidade de constituintes nos horizontes.

Tabela 2. Características morfológicas do Perfil 2.

Hor	Prof	Cor úmida- Matriz – Mosq.	Transição	Estrutura	Consistência molhada	Classe textural	
P2- VIAMÃO							
A1	0-15	7,5YR 4/6	-	Clara e Plana	Fraca Pequena Granular/	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco arenosa
A2	15-40	7,5YR 4/4	-	Gradual e Plana	Fraca Pequena Granular/ Média Fraca . Bloco	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco argilo arenosa
E1	40-60	7,5YR 4/4	-	Gradual e Plana	Fraca Pequena Granular/ Fraca Média Bloco	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco. argilo arenosa
E2	60-75	7,5YR 5/3	-	Gradual e Plana	Fraca Pequena Granular/ Fraca Média Bloco	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco.are nosa
EB	75-90	7,5YR 5/4	-	Gradual e Plana	Moderada Grande Bloco/	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco argilo arenosa
Bt1	90-110	2,5YR $\frac{3}{4}$	-	Clara e Plana	Moderada Grande Bloco	Plástica Pegajosa	Argila
Bt2	110- 130+	2,5YR 3/6	-		Moderada Grande Bloco	Plástica Pegajosa	Argila

Hor.: Horizonte; Prof.: Profundidade.

A textura de P2 variou de Franco arenosa em subsuperfície, com incremento de argila claramente percebido em campo em 90 cm de profundidade. A partir desta profundidade os dois horizontes mais subsuperficiais foram indicados como B textural, de textura argilosa. A consistência molhada foi não plástica e não pegajosa até a profundidade de 90 cm. Em profundidade, em Bt1 e Bt2, a consistência molhada foi plástica e Pegajosa. Nestes horizontes o sufixo "t" foi empregado, indicando acumulação de argila (SANTOS et al., 2013). A consistência úmida em Bt1 e Bt2 foi muito firme, onde as feições do caráter fragipânico foram percebidos, com a dureza e quebradice detectadas desde a diferenciação dos horizontes, até a avaliação mais detalhada com o tato (Figura 15).

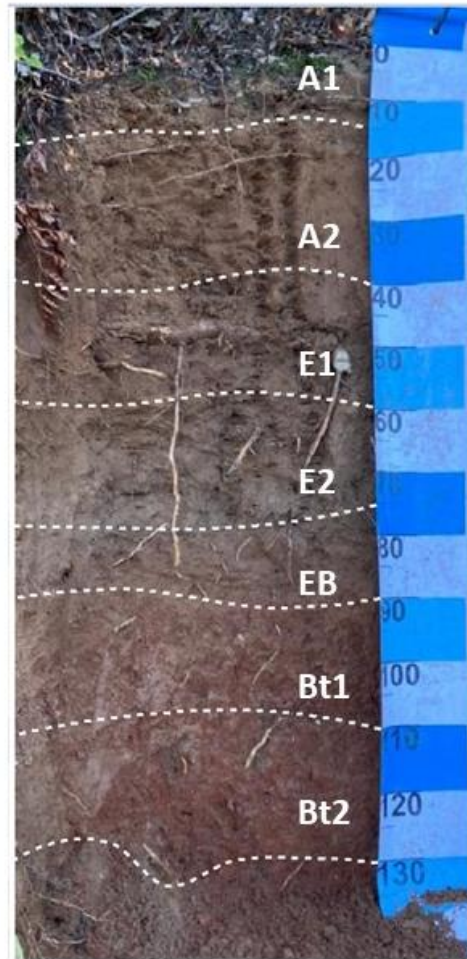


Figura 15. Imagem do perfil de solo 2 (P2), em Viamão.

O perfil 3 (P3) apresentou sequência de horizontes A, A2, E, EB, Btx1, Btx2, Bt (Tabela 3). As cores deste perfil foram uniformes, considerando a matriz principalmente, que apresentou pequena variação de valor e croma. Há o predomínio da matriz 10 YR. A cor mais clara do mosqueado, mas com o mesmo croma da matriz em Btx2 é uma característica morfológica de fragipã. Os mosqueados presentes nos horizontes mais profundos evidenciaram a mudança de drenagem, mais restrita, a partir da profundidade de 110 cm (Btx2).

A textura também se manteve homogênea ao longo do perfil P3, com a sensação de incremento de argila logo abaixo do horizonte E e no horizonte mais profundo. A consistência molhada por sua vez, apresentou plasticidade e pegajosidade relacionadas com a quantidade de argila e areia percebida em cada profundidade. Os horizontes mais superficiais foram descritos como não plástico e não pegajoso enquanto o horizonte Bt apresentou consistência mais plástica e pegajosa (Figura 16).

A consistência úmida em Btx1 e Btx2 foi muito firme, onde os fragipãs foram percebidos, com a dureza e quebradice detectadas na descrição em campo e após coletas indeformadas.

Tabela 3. Características morfológicas do Perfil 3.

Hor	Prof	Cor úmida- Matriz – Mosq.		Transição	Estrutura	Consistência molhada	Classe textural
P3 – LAMI 1							
A	0-20	10YR 3/3		Difusa e Plana	Fraca Média Granular/ Fraca Média	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco Arenosa
A2	20-55	10YR 3/2	-	Clara e Plana	Moderado Médio Bloco	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco Arenosa
E	55-80	10YR 4/2	-	Clara e Plana	Moderado Grande Bloco Subangular	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco arenosa
EBx	80-110	10YR 3/2	-	Clara e Plana	Forte Grande Bloco Subangular	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco Arenosa
Btx1	110/120-140	10YR 4/2	10YR 5/2	Clara e Ondulada	Moderado Grande Bloco Subangular	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco
Btx2	140-160	10YR 4/2	7,5YR 5/3	Clara e Plana	Moderado Grande Bloco Subangular	Plástica Pegajosa	Franco
Bt	160-185+	10YR 5/3	7,5YR 5/8	-	Moderado Grande Bloco Subangular	Plástica Pegajosa	Franco Argilosa

Hor.: Horizonte; Prof,: Profundidade; Lig.: Ligeiramente.

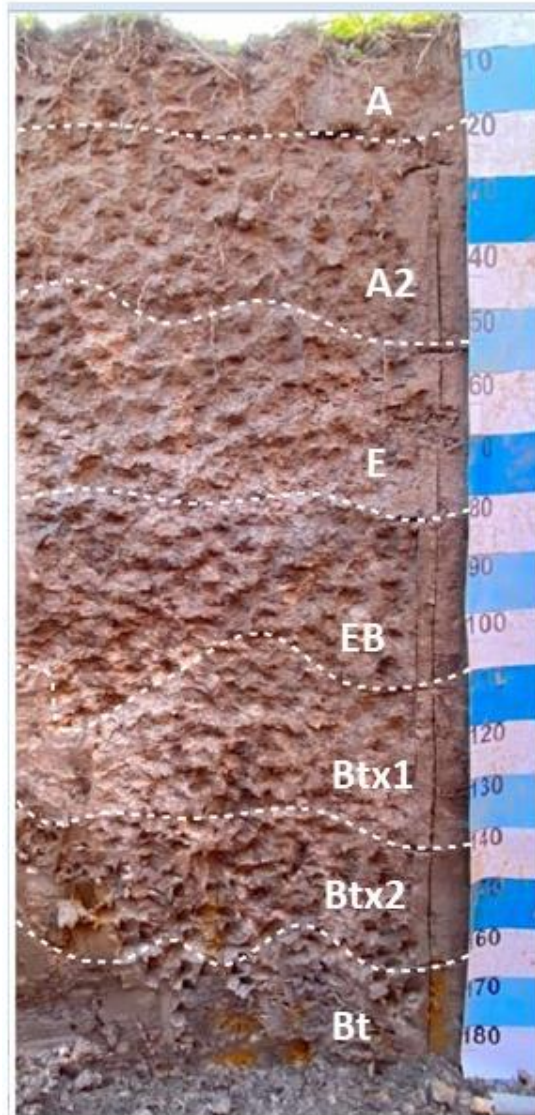


Figura 16. Imagem do perfil de solo 3 (P3), em Viamão.

O perfil 4 (P4) apresentou sequência de horizontes Ap, A1, A2, AE, Ex, Btx1, Btx2. As cores predominantes de P4 foram 10 YR tanto na matriz como nos mosqueados, com pequenas variações nos valores e cromas (Tabela 4). A textura franco arenosa foi detectada em todo perfil, com pequenos incrementos de argila percebidos nos horizontes mais subsuperficiais. A consistência molhada do P4 se mostrou com menor plasticidade e pegajosidade entre todos os horizontes em estudo. A consistência úmida em Btx1 e Btx2 foi muito firme, com a maior dureza e cimentação percebidas entre todos os perfis estudados. A cimentação nestes horizontes foi visível e perceptível aos testes de tato. Havia água acumulada acima do horizonte Btx1 e infiltração quase nula nos horizontes

cimentados (Figura 17). Nestes horizontes foi empregado o sufixo x, indicando a pseudocimentação e caráter fragipânico verificado em campo.

Tabela 4. Características morfológicas do Perfil 4.

Hor	Prof	Cor úmida- Matriz – Mosq.		Transição	Estrutura	Consistência molhada	Classe textural
P4- LAMI 2							
Ap	0-25	10YR 4/3	-	Clara e plana	Moderada Média Granular	Não.Plástica Não Pegajosa	Franco arenosa
A1	25-50	10YR 3/3	-	Clara e, plana	Moderada Médio Bloco Subangular	Lig..Plástica Não Pegajosa	Franco. argilo arenosa
A2	50-70	10YR 3/4	-	Gradual e plana	Moderada Grande Bloco subangular	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Argilo arenosa
AE	70-85/90	10YR 4/3	-	Clara e Ondulada	Moderada Grande Bloco subangular	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco. argilo arenosa
Ex	85/90- 110	10YR 6/3	-	Clara e Ondulada	Forte Grande Bloco Subangular	Não.Plástica Lig. Pegajosa	Franco arenosa
Btx1	110- 125/130	10YR 6/4	10YR 5/8	Clara e Ondulada	Bl. Sub,/Grande/ Moderada	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco. argilo arenosa
Btx2	125/130- 170+	10YR 6/4	10YR 5/8	-	Moderada Grande Bloco Subangular	Lig.Plástica Lig. Pegajosa	Franco argilo arenosa

Hor.: Horizonte; Prof.: Profundidade; Lig.: Ligeiramente. Bl: Bloco;

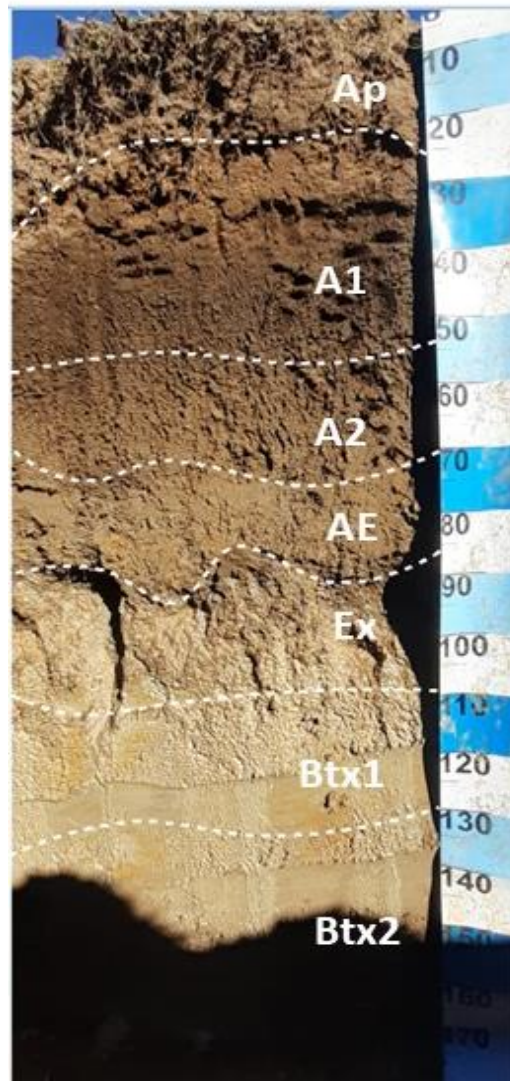


Figura 17. Imagem do perfil de solo 4 (P4), em Porto Alegre.

As amostras de agregados dos horizontes EB, Btx1, Btx2 de P3 e dos horizontes Ex e Btx2 de P4 passaram por secagem ao ar e após por verificação de cimentação (Figura 18). Considerando que o fragipã exibe pseudocimentação quando seco, com rigidez reversível em material úmido (IBGE, 2015), os horizontes foram enquadrados como fragipânicos por atenderem a este pré-requisito de pseudocimentação (Figura 18).

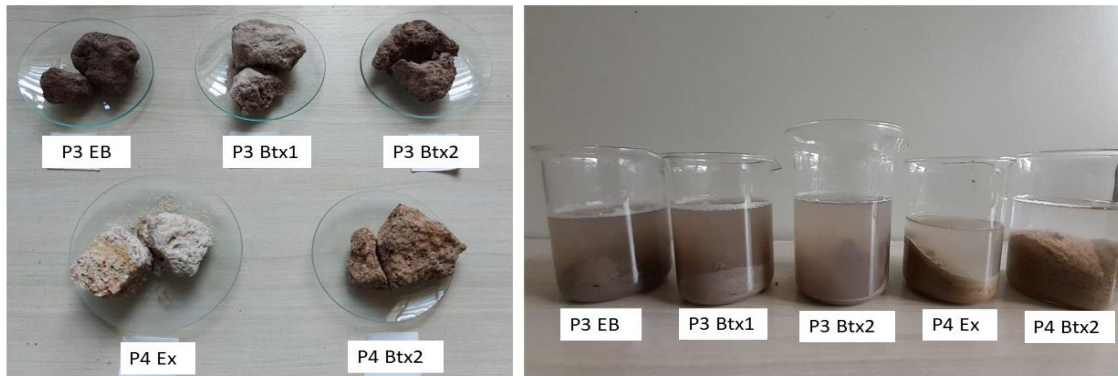


Figura 18. Agregados de coletas indeformadas de fragipã secos e após imersão em água por duas horas.

As amostras de fragipã, com fragmentos indeformados se tornaram menos resistentes quando imersos em água, com fraturas, desprendimentos de pedaços e esboroamento em curto espaço de tempo, em menos de uma hora. A observação se manteve por duas horas e houve a desestruturação dos agregados com deposição total das amostras no fundo dos Beckers utilizados.

6.3 Características físicas dos perfis de solo

As informações sobre a granulometria e demais atributos físicos dos perfis de solo são apresentados na tabela 5. Os valores de Densidade (D_s), Microporosidade (M_i), Macroporosidade (M_a) e Porosidade Total (P_t) verificados em alguns horizontes são apresentados na tabela 6. Nenhum dos perfis de solo em estudo apresentou presença de cascalho. Em nenhum dos perfis foi detectado Valor de Uniformidade (VU) maior que $|0,6|$, indicativo de descontinuidade litológica.

No perfil 1 (P1) há um pequeno aumento de argila em profundidade, já detectado na análise morfológica, onde o horizonte Btf1 foi identificado como horizonte com maior quantidade de argila (335 g kg^{-1}), enquadrado na classe Franco Argilosa. O horizonte Btf2 apresentou menor quantidade de argila comparado a Btf1 e maior expressão do silte. O aumento de argila voltou a ocorrer no horizonte BC (306 g kg^{-1}). A fração areia é maior constituinte da textura de todos os horizontes, com predomínio da areia grossa em relação a areia fina, principalmente nos horizontes mosqueados e plínticos.

Alguns horizontes de P1 (A2, Btf2 e BC) apresentaram graus de floculação (GF) altos, o que indica que estes horizontes apresentam baixos valores de argila

dispersa em água. Os horizontes com menor GF são A e Bt_{f1}, onde o menor grau de floculação da argila e maior capacidade de dispersão em água, favorece a perda de argila destes horizontes para horizontes mais subsuperficiais. Segundo Santos et al. (2010), a transferência de argila, pelo transporte vertical da água, favorecida pelo baixo grau de floculação, permite a formação do horizonte Bt. Neste caso, houve incremento de argila suficiente para formação do horizonte B textural, com relação de média de argila nos subhorizontes B/ subhorizontes A igual a 1,93.

A relação silte/argila de P1 foi alta em todo o perfil, indicando baixo grau de intemperismo. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018) a relação silte/argila é utilizada como atributo diagnóstico avaliativo do estágio de intemperismo nos solos. Quando existem baixos teores de silte nesta relação, valor inferior a 0,7 em solos de textura média e 0,6 em solos de textura argilosa, indica-se o alto grau de intemperismo.

No P1, a densidade do solo (D_s), verificada nos horizontes A, Bt_{f1} e Bt_{f2}, se manteve homogênea com o maior valor de D_s em Bt_{f2} (1,789 g cm⁻³) dentro desse perfil (Tabela 6). O Horizonte Bt_{f2} contém as plintitas e maior incremento de silte, apresentando a menor porosidade total (Pt %), dureza e quebradicidade quando manuseado.

No perfil 2 (P2) ocorreu um aumento expressivo de argila em profundidade, já detectado na análise morfológica, onde há mudança textural abrupta e os horizontes Bt₁ e Bt₂ são identificados como classe textural argila. Os horizontes superficiais apresentaram baixo teor de argila, valores altos de areia e a classificação destes é areia franca. O GF observado foi uniforme entre os horizontes, mas a argila dispersa em água foi alta nos horizontes subsuperficiais. A relação Silte/Argila é alta em E₁ (2,42) e E₂ (4,10) e baixa em Bt₁(0,19) e Bt₂ (0,22). A densidade do solo (D_s), verificada nos horizontes A, EB e Bt₁, apresentou maior valor em Bt₁ (1,940 g cm⁻³), com menor Pt (38 %) neste horizonte onde é percebida a dureza e quebradicidade. Em Bt₁ encontra-se o caráter fragipânico, mesmo que em grau moderado de expressão.

Tabela 5. Atributos Físicos dos perfis P1, P2, P3 e P4.

Hor.	Prof. Cm	AT	AG	AF	Silte	Argila	GF%	ADA%	Sil/Arg	VU
g kg-1										
P1										
A1	0-20	700	449	251	173	126	60	5,09	1,37	-0,07
A2	20-55	624	421	203	224	152	92	1,26	1,47	-0,37
BA	55-70	544	306	238	252	204	75	5,08	1,24	0,47
Btf1	70-95	387	367	20	279	335	57	14,22	0,83	-0,52
Btf2	95-135	412	270	142	320	268	95	1,28	1,19	-0,27
BC	135-160+	411	208	203	283	306	96	1,27	0,92	-
P2										
A1	0-15	846	547	299	92	62	80	1,25	1,48	-0,09
A2	15-40	825	518	306	100	75	66	2,51	1,33	-0,20
E1	40-60	830	482	348	121	50	75	1,25	2,42	-0,18
E2	60-75	806	438	367	156	38	66	1,25	4,10	-0,01
EB	75-90	612	357	255	173	215	76	5,10	0,80	-0,15
Bt1	90-110	325	180	145	109	567	71	16,66	0,19	-0,01
Bt2	110-135+	330	188	142	125	546	71	15,59	0,22	-
P3										
A	0-20	746	584	162	203	51	75	1,27	3,98	-0,16
A2	20-55	746	552	194	216	38	67	1,26	5,83	-0,12
E	55-80	728	522	206	234	38	67	1,26	6,32	0,09
EBx	80-110/120	750	558	192	238	12	20	1,00	19,83	-0,01
Btx1	110/120-140	690	526	164	246	63	40	3,78	3,89	-0,18
Btx2	140-160	630	454	176	256	113	44	6,33	2,26	0,08
Bt	160-185	630	475	155	264	114	22	8,86	2,32	-
P4										
Ap	0-25	851	618	233	123	25	50	1,28	3,99	0,16
A1	25-50	760	624	136	174	65	60	2,59	5,84	-0,35
A2	50-70	625	476	148	219	156	33	10,36	6,32	-0,26
AE	70-85/ 90	554	432	122	330	115	44,	6,36	19,83	0,11
Ex	85/90-110	643	479	161	294	63	40	3,79	3,88	0,20
Btx1	110-125/130	643	501	142	252	101	37	6,33	2,26	0,08
Btx2	125/30-170	589	485	104	248	166	30	11,53	2,33	-

Hor: Horizonte; Prof: Profundidade; AT: Areia total; AG: Areia Grossa; AF: Areia fina; GF: Grau de Floculação; Sil/Arg: Silte/ Argila; VU: Valor de Uniformidade.

O perfil 3 (P3) apresentou menor quantidade de argila distribuída no perfil, quando comparado aos demais perfis em estudo, com pequeno incremento nos

horizontes subsuperficiais Btx2 (113 g kg⁻¹) e Bt (114 g kg⁻¹) e mesmo comportando a maior quantidade de argila do perfil, estes horizontes foram classificados na classe textural Franco arenosa. A fração areia predominou em todos os horizontes, com a participação do silte distribuído de forma muito uniforme por toda profundidade do perfil. O GF foi mais alto nos horizontes superficiais e a ADA é mais alta nos horizontes subsuperficiais.

A relação Silte/Argila foi alta no horizonte EBx onde a quantidade de argila é a mais baixa (12 g kg⁻¹) entre os horizontes. Este teor tão baixo de argila prejudica a interpretação sobre intemperismo por esta relação. A partir disto também foi possível notar que na descrição morfológica a nomenclatura dada para este horizonte foi Btx (em um primeiro momento, em campo), embora este apresente características granulométricas de horizonte E. Isto é justificado pela percepção da dureza no campo. No momento da descrição morfológica, este horizonte foi identificado como Btx por se diferenciar na morfologia, no entanto a sua grande diferença identificada após análises físicas mostra que há pouca quantidade de argila e a diferença sentida em campo foi devida a expressão de dureza e cimentação, também há quebradicidade. Este horizonte foi renomeado para EBx após as análises físicas.

A densidade do solo, verificada em A, EBx e Btx1 mostrou valores altos nos horizontes EB (2,089 g kg⁻¹) e Btx1 (2,201 g kg⁻¹), apresentando a densidade do solo maior que a dos horizontes sobrejacentes, um pré-requisito para enquadramento como horizonte fragipânico. Nestes horizontes ocorreu baixa porosidade total, baixa microporosidade e baixa macroporosidade confirmando a sensação de compactação e baixa permeabilidade verificada na descrição morfológica. Alguns autores estabelecem limites críticos de densidade para o desenvolvimento radicular das plantas. Silva et al. (2015), por exemplo, afirmaram que a densidade acima de 1,7 g cm⁻³ pode ser considerada crítica e Guidolini (2015) também associa um valor próximo (1,75 g cm⁻³) como limite para o crescimento normal de raízes. Considerando que estes valores são limitantes para alguns usos em superfície e neste perfil estas densidades limitantes acontecem em subsuperfície, as altas densidades resultam na compactação e limitação na condutividade hidráulica, infiltração da água e diminuição da profundidade efetiva do solo. Há então a presença de horizontes densos, na profundidade a partir dos 80 cm, pouco permeáveis e com saturação sobrejacente em grande parte do ano.

O perfil 4 (P4) apresentou baixos valores de argila ao longo do perfil, com um pequeno incremento no horizonte mais subsuperficial Btx2 (166 g kg^{-1}). Neste perfil, a areia grossa prevaleceu na composição textural, com a classe franco arenosa predominando. Estes valores se assemelham aos de Argissolos Amarelos distróficos fragipânicos descritos por Filizola et al. (2001), nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil.

O GF foi variável nos diferentes horizontes, assim como a ADA, o que mostra que a movimentação de argila dentro do perfil não apresenta a tendência de um processo de formação específico como a lessivagem. A relação Silte/Argila também é alta e variável em todos os horizontes e quanto maior a quantidade de silte em relação a argila, maior é a capacidade existente do solo em ser intemperizado, ou seja, há um baixo grau de intemperização existente neste perfil.

A densidade do solo foi verificada nos horizontes AE, Ex, Btx1 e se mostra alta nos horizontes identificados com o sufixo x, com Ds de $2,078 \text{ g cm}^{-3}$ em EX e Ds de $2,129 \text{ g cm}^{-3}$ em Btx1. Esta densidade alta foi verificada em campo, com a expressão de dureza, cimentação quando seco e quebradiceza. O adensamento nos horizontes fragipânicos foi confirmada após análises físicas em laboratório (Tabela 6). A porosidade total do horizonte considerado com características mais típicas de fragipã, o Btx1, foi a menor Pt (18%) entre todos os perfis em estudo. Os valores de Mi ($0,155 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$) e Ma ($0,025 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$) também foram muito baixos neste horizonte. Segundo Pereira et al. (2011), o volume de macroporos é expressivamente diminuído com o adensamento causado pela pressão exercida sobre o solo e uma pequena diminuição no volume total de poros do solo também ocorre. Estes valores explicam a dinâmica percebida, de água acumulada sobre este horizonte que é restrito à drenagem em profundidade, com limitação na condutividade hidráulica e gasosa.

Na caracterização dos fragipãs de Argissolos Vermelho Amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Correa et al. (2008) encontraram valores de densidade dos perfis Argissolo Amarelo distrófico com fragipã e Espodossolo Ferrocárbico órtico, de $1,50$ e $1,69 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Moreau et al. (2006), descreveram densidades máximas de $1,62 \text{ kg dm}^{-3}$ em horizonte Bt1 de Argissolo Amarelo abruptico e Ds de $2,03 \text{ kg dm}^{-3}$ em horizonte BhsM de Espodossolo Cárbico órtico dúrico, no estudo de horizontes coesos, fragipã e duripãs do Tabuleiro Costeiro do Sul da Bahia.

Tabela 6. Valores de Densidade de horizontes.

Horizonte	Ds g cm ⁻³	Mi cm ⁻³ cm ⁻³	Ma	Pt %
P1				
A	1,631	0,268	0,272	54
Bf1	1,644	0,372	0,123	49
Bf2	1,789	0,342	0,075	42
P2				
A	1,615	0,147	0,290	44
EB	1,512	0,344	0,093	44
Bt1	1,940	0,233	0,147	38
P3				
A	1,871	0,366	0,112	48
EBx	2,089	0,188	0,097	28
Btx1	2,201	0,200	0,110	31
P4				
AE	1,668	0,233	0,042	27
Ex	2,078	0,248	0,097	34
Btx1	2,129	0,155	0,025	18

Ds: Densidade do Solo; Mi: Microporosidade; Ma: Macroporosidade; Pt: Porosidade total.

6.4 Características Químicas dos perfis de solo

As características químicas dos perfis dos solos em estudo estão apresentadas na tabela 7. Os resultados discutidos são relacionados a atributos químicos importantes para a classificação e são interpretados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Os perfis de solo apresentam pH em água com valores menores que 5,9 em todos os horizontes. Os valores de pH em KCl não ultrapassaram 4,1 em nenhum horizonte. Assim se considerarmos o delta pH ($\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$), nenhum horizonte apresentou ΔpH positivo (critério requerido para enquadramento como caráter ácido).

O perfil P1 apresenta as maiores somas de base (S) nos horizontes BA, Btf1 e Btf2. P2 apresenta maiores somas de bases (S) em Bt1 e Bt2. P3 apresenta maior soma de bases (S) em Bt (4,2 cmol_c kg⁻¹), evidenciando um horizonte de acumulação. O perfil 4 apresenta soma de bases variadas entre os horizontes, com aumento em profundidade, principalmente em Btx2 (3,68 cmol_c kg⁻¹).

Os maiores valores de Al^{3+} de P1 estão presentes em Btf1, Btf2 e BC ($1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $1,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) respectivamente, mas considerados baixos. Em P2 os valores de Al, se destacam em relação aos demais horizontes do perfil em EB ($2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Bt1 ($2,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Bt2 ($3,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Os solos não apresentaram caráter alumínico, pois em nenhum horizonte subsuperficial o teor de Al trocável foi igual ou maior que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Entretanto, alguns horizontes apresentaram saturação por Al superior a 50%. A saturação por sódio (PST %) verificada apresenta que nenhum horizonte possui valores altos, $\geq 15 \%$, o que caracteriza todos os perfis sem caráter sódico ou solódico.

O perfil P1 apresenta os maiores valores de CTC nos horizontes BA, Btf1 e Btf2. P2 apresenta maiores CTC em Bt1 e Bt2.

A CTC se enquadrando como média em todos os horizontes de P1 ($5,1-15,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SANTOS et al., 2018). E em P2, P3 e P4 há variação da CTC que se enquadra como baixa e média em diferentes horizontes dos solos.

Em P1 a ATA é alta até a profundidade de Bf1, o primeiro horizonte com plintitas. Em P2, onde há a maior drenagem, existem os menores valores de ATA, isto se deve a predominância de argila de baixa atividade como minerais do tipo 1:1 ou óxidos característicos de solos mais intemperizados, justamente relacionados a maior velocidade de intemperismo que é favorecido pelos fluxos de drenagem (KER et al., 2012).

A atividade da fração argila (ATA), foi alta ($>27 \text{ cmol}_c$) nos horizontes superficiais em P1 e P2, apresentando-se alta também nos horizontes em toda profundidade dos perfis P3 e P4. Esta atividade, não calculada para horizontes com textura areia ou areia franca, é indicadora da capacidade de troca de cátions na fração argila e auxilia na classificação dos solos, com a nomenclatura no terceiro nível categórico do SiBCS.

Em P2 a ATA é baixa nos horizontes E1, EB, Bt1 e Bt2 e em P3 ATA alta predominando no perfil. Em P4 a ATA é alta em toda profundidade. A ATA encontrada neste perfil indica que há predomínio de argila de alta atividade, composta por minerais do tipo 2:1, característicos de solos pouco intemperizados. O grau de intemperismo menos avançado, que permite a presença desses minerais, se deve a posição no relevo, onde ocorre menor intensidade de lixiviação e processos atuantes que não transformaram os minerais primários em secundários (SIMONSON, 1959). Segundo Mota et al. (2002), em estudo de ATA em planossolo do Ceará, a alta CTC da argila está

relacionada com a baixa remoção de Si, a neoformação de argilominerais 2:1 em ambiente com menor lixiviação e drenagem restrita, condições semelhantes aos planossolos deste estudo. Segundo Santos et al. (2018) a ATA alta em solos com presença expressiva de minerais 2:1 ocorre simultaneamente a dois processos de aumento do grau de decomposição dos minerais primário, com enriquecimento do teor de argila e dessilicação parcial com envelhecimento da fração argila, a partir de minerais de maior nível de substituição isomórfica, para fases com menor proporção de substituição isomórfica e minerais 1:1. Em síntese, o aumento de ATA está relacionado com a dissolução de minerais mais jovens e gênese de minerais secundários.

Os perfis apresentaram maiores teores de C orgânico em superfície e decréscimo em subsuperfície. O perfil 4 apresenta incremento de C orgânico apenas nos horizontes Ap e A1, com decréscimo gradual em profundidade.

A saturação por bases (V), que se refere à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7 (EMBRAPA, 2018), foi baixa (< 50) na maioria dos horizontes. Com exceção e V% alta apenas no Btx1 (81 %), Btx2 (69%) e Bt (85%) de P3, no Ex (61%) e Btx1 (72%) de P4. Os valores de V% expressos são importantes na classificação dos solos, para distinção entre classes (considerando a V% no horizonte diagnóstico B ou C). A saturação por bases (V%) foi baixa em todos os horizontes de P1 e P2.

Tabela 7. Atributos químicos dos Perfis de solo.

Hor.								Complexo Sortivo				P mg Kg ⁻¹	C org. (%)	m ⁵	PST ⁶ (%)	V% ⁷
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S ¹ cmol _c .kg ⁻¹	Al ³⁺	H+Al	CTC ²	ATA ³					
P1- Eldorado do Sul																
A1	4,7	3,8	0,9	0,7	0,03	0,21	1,81	0,6	4,47	6,28	49	6,4	0,93	24,6	0,47	29
A2	4,5	3,6	0,9	0,5	0,02	0,10	1,5	1,2	3,96	5,46	36	2,6	0,52	44,3	0,44	34
BA	4,7	3,8	1,1	0,7	0,03	0,09	1,89	1,2	3,80	5,69	28	2,4	0,35	38,6	0,53	33
Btf1	4,6	3,7	1,6	1,2	0,03	0,09	2,89	1,5	4,14	7,03	21	2,3	0,35	34	0,43	41
Btf2	4,7	3,8	1,3	1,1	0,02	0,09	2,49	1,5	2,57	5,06	19	1,5	0,06	37,5	0,39	49
BC	4,4	3,4	0,8	0,9	0,03	0,10	1,8	1,6	2,88	4,68	15	1,0	0,06	46,9	0,64	38
P2 – Viamão																
A1	4,2	3,4	0,3	0,2	0,03	0,05	0,55	0,8	2,65	3,2	-	3,1	0,64	58,5	0,94	17
A2	4,5	3,9	0,1	0,1	0,02	0,02	0,22	0,7	1,83	2,05	-	1,6	0,29	74,9	0,97	11
E1	4,6	3,9	0,1	0,1	0,02	0,01	0,22	0,5	1,11	1,33	-	1,7	0,29	68,7	1,50	16
E2	4,7	4,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,22	0,3	0,86	1,08	-	2,1	0,29	56,6	1,85	20
EB	4,4	3,7	0,2	0,2	0,04	0,03	0,43	2,0	3,62	4,05	18	1,7	0,29	81,5	0,98	10
Bt1	4,6	3,6	0,3	1,1	0,07	0,03	1,43	2,4	6,15	7,58	13	1,5	0,40	62,4	0,92	18
Bt2	4,6	4,11	1,0	1,9	0,09	0,03	2,93	3,2	7,66	10,59	19	0,9	0,35	52,2	0,84	27

²CTC (T) em pH 7; ¹S= soma de bases; ³ATA = (CTC a pH7.0 ou T) / % argila) x 100; PST (%) = (100 x teor de Na) / T; ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50);

Continuação:

Hor.	pH		Complexo Sortivo									P mg Kg ⁻¹	C org. (%)	m ⁵	PST ⁶ (%)	V% ⁷
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S ¹	Al ³⁺	H+Al	CTC ²	ATA					
P3- Porto Alegre Lami Ibitori																
A	5,0	4,1	1,2	0,5	0,09	0,04	1,74	0,3	2,29	4,03	79	5,8	0,87	14,7	2,23	43
A2	4,7	3,9	0,6	0,2	0,08	0,03	0,83	0,7	2,03	2,86	-	2,6	0,29	45,8	2,79	29
E	4,4	3,9	0,5	0,2	0,08	0,02	0,72	0,2	1,09	1,81	47	2,0	0,29	21,6	4,41	40
EBx	4,8	3,9	0,5	0,6	0,08	0,02	1,12	0,3	1,36	2,48	-	1,4	0,29	21,1	3,22	45
Btx1	5,3	3,8	0,7	0,9	0,08	0,04	1,64	0,0	0,37	2,01	32	1,1	0,17	0,0	3,98	81
Btx2	5,6	3,9	1,3	1,7	0,14	0,06	1,64	0,0	0,74	2,38	21	1,1	0,17	0,0	5,88	69
Bt	5,9	3,9	1,7	2,4	0,24	0,10	4,2	0,0	0,69	4,89	42	1,3	0,17	0,0	4,90	85
P4- Porto Alegre																
Ap	4,8	3,9	0,5	0,5	0,02	0,9	1,9	0,5	2,00	3,9	-	3,2	0,81	20,8	0,51	49
A1	4,4	3,9	0,4	0,2	0,02	0,04	0,64	1,5	2,04	2,68	42	1,3	0,46	70,09	0,74	24
A2	4,4	3,8	0,5	0,2	0,06	0,03	0,73	1,7	3,94	4,67	30	1,4	0,17	69,8	1,28	16
AE	4,6	3,8	0,6	0,6	0,04	0,04	1,24	2,8	3,14	4,38	38	1,2	0,17	69,30	0,91	28
Ex	4,8	3,8	0,4	0,9	0,02	0,03	1,33	1,2	1,91	2,17	34	1,1	0,17	47,43	0,92	61
Btx1	4,8	3,9	0,8	1,7	0,05	0,05	2,55	1,6	1,95	3,50	34	1,8	0,06	38,55	1,42	72
Btx2	4,8	3,4	1,2	2,4	0,06	0,08	3,68	2,2	3,72	7,40	45	1,1	0,06	37,41	0,81	49

²CTC (T) em pH 7; ¹S= soma de bases; ³ATA = (CTC a pH7.0 ou T) / % argila) x 100; PST (%) = (100 x teor de Na) / T; ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50);

Os teores totais dos elementos químicos determinados por fluorescência de raios x nos horizontes dos perfis dos solos estão apresentados na tabela 8. A fluorescência de raios X detecta não apenas as formas iônicas, mas também o elemento presente nas estruturas dos minerais. Em geral, a distribuição dos teores dos elementos é homogênea dentro de cada perfil. Há o predomínio de Silício entre os elementos, em todos os perfis de solo em estudo como esperado, pois os óxidos de silício e o grupo de silicatos constituem os grupos minerais em maior abundância na crosta terrestre (KER et al., 2012).

O Fe se apresenta com maiores concentrações sempre em subsuperfície e principalmente nos horizontes com maiores textura de argila. Os teores de ferro nos horizontes diminuem na sequência de P2, P1, P3 e P4, acompanhando o grau de hidromorfismo crescente apresentado nesta mesma ordem. Considerando o modelo pedogenético de formação dos óxidos de Fe, existem pedoambientes aeróbicos e anaeróbicos. Em pedoambientes anaeróbicos sazonais, os óxidos de ferro, quando presentes estão restritos a mosqueados, nódulos e concreções (plintita e petroplintita), como encontrados no P1, enquanto em pedoambientes anaeróbicos permanentes pode haver ausência completa de óxidos de Fe^{3+} (KAMPF et al., 2012). Ou seja, quanto mais oxidante o pedoambiente, melhor a condição para formação e estabilidade dos óxidos de Fe, que se inicia com a liberação de Fe^{2+} dos minerais primários na intemperização e sua oxidação a Fe^{3+} (por meio de processos de protólise e de oxidação, hidrólise e formação dos óxidos de Fe^{3+}).

Tabela 8. Composição química dos perfis de solo. Elementos determinados por fluorescência de raio-X (FRX).

Horiz,	Prof. Cm	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	MnO
g kg ⁻¹								
P1								
A1	0-20	591,28	55,63	73,52	14,09	1,90	2,28	0,03
A2	20-55	595,99	66,49	87,88	12,60	1,89	2,26	0,02
BA	55-70	566,03	78,08	103,19	11,60	1,902	2,28	0,02
Btf1	70-95	534,57	90,09	119,07	9,45	1,97	2,37	0,02
Btf2	95-135	546,56	86,37	114,16	10,28	1,72	2,04	0,02
BC	135-160+	661,26	33,32	44,04	9,78	1,77	2,13	0,02
P2								
A1	0-15	628,09	38,75	51,22	12,60	1,92	2,30	Nd
A2	15-40	634,72	45,62	60,29	13,76	1,78	2,13	Nd
E1	40-60	661,90	30,17	39,88	17,74	1,51	1,81	0,03
E2	60-75	734,45	20,74	27,40	8,29	1,41	1,69	0,02
EB	75-90	611,61	54,34	71,82	9,28	1,65	1,98	0,02
Bt1	90-110	525,37	80,22	106,03	8,95	1,66	1,99	0,03
Bt2	110-130	496,27	108,54	143,45	10,77	1,76	2,11	0,03
P3								
A	0-20	688,44	32,75	43,28	13,09	1,59	1,91	0,02
A2	20-55	688,01	29,31	38,74	17,07	1,58	1,89	Nd
E	55-80	725,67	28,60	37,80	10,11	1,60	1,93	Nd
EBx	80-110	722,46	28,17	37,23	5,803	1,55	1,86	Nd
Btx1	110/120-140	681,16	41,04	54,24	10,44	1,90	2,28	0,02
Btx2	140-160	635,37	52,48	69,36	11,60	1,69	1348	0,02
Bt	160-185+	611,61	48,76	64,45	13,43	2,04	2,45	Nd
P4								
Ap	0-25	669,60	32,75	43,28	7,13	1,81	2,18	0,02
A1	25-50	622,31	51,05	67,47	13,59	1,70	2,04	Nd
A2	50-70	734,88	22,59	29,86	5,97	1,59	1,91	Nd
AE	70-85/90	612,47	46,62	61,61	14,42	1,41	1,69	Nd
Ex	85/90-110	711,55	28,03	37,04	7,62	1,59	1,91	Nd
Btx1	110-125/130	625,95	42,47	56,13	15,25	1,49	1,80	Nd
Btx2	125/130-170+	630,66	45,62	60,29	10,61	1,72	2,06	Nd

Horiz.: Horizonte; Prof.: Profundidade; nd: não detectado.

Segundo a determinação por FRX, o Al₂O₃ está detectado em todos os horizontes de todos os perfis, diferentemente dos valores encontrados nas dissoluções seletivas e no complexo sortivo. Os maiores teores estão nos horizontes B de P2 e P1 respectivamente, que apresentam menor grau de cimentação. Pôde ser observado um aumento de Al₂O₃ e a diminuição de teores de SiO₂ em horizontes mais argilosos, isto ocorre porque no solo os óxidos de silício se concentram nas frações areia e silte, em menor quantidade na fração argila grossa e na fração argila fina, atribuindo a menor resistência das partículas muito finas à dissolução (KAMPF et al., 2012). Em P3 e P4 os teores de Al₂O₃

são heterogêneos em profundidade e se apresentam com os teores mais baixos entre os solos em estudo, porém são relativamente altos em comparação a quantidade de argila dos perfis (Tabela 9).

Tabela 9. Relação de Al_2O_3 determinado por fluorescência de raio-X (FRX) sobre a argila de horizontes não fragipânicos em P1 e P2 e fragipânicos em P3 e P4.

Perfil	Horizonte	Al_2O_3 / Argila (g Kg ⁻¹ / g Kg ⁻¹)
P1	BA	0,506
P1	Btf1	0,355
P1	Btf2	0,426
P2	EB	0,334
P2	Bt1	0,187
P2	Bt2	0,263
P3	Btx1	0,861
P3	Btx2	0,614
P4	Ex	0,588
P4	Btx1	0,556
P4	Btx2	0,363

Foram observadas algumas peculiaridades na relação Al_2O_3 / Argila, pois o teor de Al é alto para quantidade de argila presente nos perfis P3 e P4, que são de textura predominantemente grosseira. A quantidade de alumínio é alta em relação a fração argila nos perfis fragipânicos, embora a extração de Al pelas dissoluções seletivas apresentadas não tenha demonstrado valores significativos para justificá-lo como cimentante. Existem relações altas de Al_2O_3 / Argila em solos com fragipã, pois por apresentarem baixas quantidades de argila a tendência é que esta relação seja mais alta, isto indica que o Al está presente em outras frações além da argila e apresenta melhor detecção determinada por fluorescência de raio-X.

O Mg, elemento considerado de alta mobilidade, se apresenta em teores baixo em relação aos demais elementos apresentados, sem grandes discrepâncias entre os perfis de solos em estudo, mesmo nos diferentes graus de hidromorfismo e diferentes classes de solos.

O Ca se apresenta em quantidades homogêneas em todos os perfis com teores variando de 1,01% a 1,46%. Não há acúmulo deste elemento relacionado aos teores de argila. O K se apresenta em teores bem baixos no horizonte P2 e no horizonte BC de P1. Nos demais horizontes se apresenta de forma

homogênea. O Mn é o elemento menos presente nos solos, com teores nulos ou extremamente baixos em todos os perfis.

6.5 Teores de Fe, Al e Si por dissoluções seletivas

Os resultados das dissoluções seletivas estão apresentados na tabela 10. Os valores identificados como Fed foram extraídos com Ditionito-Citrato-Bicarbonato e os valores identificados como Feo, Alo e Sio foram extraídos com oxalato.

Tabela 10. Teores dos elementos obtidos por dissoluções seletivas.

Horiz.	---- DCB ----	----- Oxalato -----			Relação
	Fed	Alo	Feo	Sio	Feo/ Fed
			(g kg ⁻¹)		
			P1		
A2	1,30	0,713	0,473	1,938	0,36
Btf1	2,38	0,960	0,769	3,436	0,32
Btf2	2,63	0,495	0,228	3,839	0,09
BC	3,05	0,610	0,705	2,667	0,23
			P2		
A2	0,92	0,318	0,348	0,399	0,38
E1	0,79	0,242	0,362	0,000	0,45
EB	2,49	0,331	0,373	0,033	0,15
Bt1	7,30	0,783	1,313	2,378	0,18
Bt2	7,17	0,851	0,763	2,436	0,11
			P3		
A	6,73	0,172	0,216	nd	0,03
E	0,80	0,119	0,424	nd	0,53
Btx1	1,50	0,087	0,146	nd	0,09
Btx2	1,50	0,074	0,460	0,238	0,30
Btx3	0,70	0,146	0,495	0,380	0,70
Bt	1,40	0,401	0,509	0,165	0,36
			P4		
Ap	0,25	0,144	0,050	nd	0,20
A2	0,90	0,072	0,144	nd	0,16
Ex	0,80	0,188	0,452	nd	0,56
Btx1	0,90	0,113	0,173	nd	0,19
Btx2	0,90	0,205	0,292	1,503	0,32

nd: não detectado

Estas análises foram realizadas em horizontes selecionados dos solos, considerados principais.

Os óxidos de ferro são minerais secundários, presentes na fração argila dos solos, são considerados testemunhas das condições de pedogênese por serem cristalizados sob a influência dos fatores ambientais, como pH, temperatura, umidade, teor de matéria orgânica, entre outros (SCHWERTMANN, 1985). Então é possível atribuir a presença de cada mineral ao ambiente mais favorável de sua formação, para compreensão dos processos pedogenéticos ou caracteres existentes, como a dureza em alguns horizontes. Por isto os métodos de extração de ferro são empregados para auxiliar nos estudos de gênese e classificação dos solos.

A relação do Feo e Fed pôde ser usada como índice do grau de cristalinidade dos óxidos (KÄMPF, 1988). A relação Feo/Fed também é uma indicadora do grau de hidromorfismo do solo, pois quanto maior esta relação, maior o teor de óxidos de Fe³⁺ pedogênico de baixa cristalinidade formados em ambiente mal drenado, extraídos pelo oxalato. Sobre a relação Feo/Fed, esta se apresenta baixa em quase todos os horizontes e apresenta os valores mais altos em P3 e P4 com valores de 0,70 em Btx3 de P3 e 0,56 em Ex de P4. Em geral, os Planossolos apresentam relação Feo/Fed > 0,20, de acordo com o hidromorfismo presente, enquanto solos com boa drenagem apresentam relação inferior a 0,10 (PEREIRA; ANJOS, 1999).

Em P1, o Fed se apresenta em teores maiores nos horizontes Btf2 e BC, onde existem os maiores teores de argila do perfil, os mosqueados e plintitas.

Em P2, os maiores teores de Fed estão nos horizontes B texturais, onde existe maior quantidade de argila no perfil e onde há também os maiores teores de Feo, Alo e Sio. Então são nestes horizontes que se concentram a maior quantidade de óxidos do perfil. Mesmo com os maiores teores das extrações com oxalato concentrados nos horizontes texturais, estes não apresentam valores altos indicadores de óxidos de baixa cristalinidade, pois a relação Feo/Fed é baixa em todo perfil.

Os menores valores de Fed entre os perfis foram encontrados no P3 e P4, o que segundo Lima et al. (2006) pode ter ocorrido por remoção do ferro em ambiente reduzido, pois estes solos são classificados como planossolos, de cores pouco cromadas e ambiente hidromórfico. Segundo Kämpf e Dick (1984) as condições de drenagem imperfeita, que favorecem a redução e solubilização

do Fe^{3+} , impedem a formação dos óxidos pedogênicos. Os maiores valores de Fed estão nos horizontes de solos mais bem drenados como o P1 e P2, com valores mais altos encontrados no Bt1 e Bt2 de P2, com textura argila.

O Alo de P1 apresenta o teor mais baixo no horizonte Btf2, o Sio se apresenta em maiores teores em Btf1 e BC. A relação Feo/Fed é baixa em todos os horizontes subsuperficiais, característico de solos sem grandes restrições de drenagem. Em relação as extrações com oxalato, o Alo aparece em teores bem baixos em P3 e P4, assim como já havia sido detectado em baixa quantidade, principalmente no complexo sortivo de P3. Estes resultados indicam que os elementos estão pouco presentes nestes solos, principalmente em forma de óxidos de baixa cristalinidade.

Em P1 o Feo se apresenta com teores baixos em geral, com valor mais alto em Btf1 e BC, nos horizontes subsuperficiais onde há a expressão de dureza e quebradiceza, mas ainda assim são valores baixos.

O Sio está abaixo dos níveis mínimos de detecção em vários horizontes, principalmente em P3 e P4 onde existem teores bem baixos e nulos, indicando baixa quantidade de minerais silicatados amorfos nos horizontes superficiais. O silício se apresenta com os teores mais baixos em todos os horizontes superficiais, evidenciando o comportamento de lixiviação para profundidade em todos os perfis. O silício que é lixiviado pode ser recombinado em profundidade com o Al^{3+} para formar aluminossilicatos de baixa cristalinidade. Para identificar este comportamento, o Sio pode ser o indicador (FILIZOLA et al., 2001).

A gênese de Fragipãs formados por agentes cimentantes, por formas amorfas de silício, pôde ser evidenciada por Moreau et al. (2006), que observaram maiores relações Sio/Sid e Alo/Ald em um horizonte cimentado com fragipã e duripã em um Espodosolo no sul da Bahia. Mas considerando os teores baixos ou pouco expressivos das extrações, podemos afirmar que em Porto Alegre, nos solos em estudo, não há evidências que o silício tenha sido translocado e recombinado em formas de baixa cristalinidade a ponto de formar camadas cimentadas por sílica amorfa. Não foram identificados teores suficientes de Fe, Si e Al extraídos por oxalato de amônio para atribuir a gênese de fragipãs a formas de baixa cristalinidade desses elementos, os agentes cimentantes não se apresentam como descritos por Correa et al. (2015).

6.6 Características Mineralógicas

O fragipã não apresenta uma única composição mineralógica específica, por isto os difratogramas de raio x dos horizontes dos solos serviram para observação de minerais considerados indicadores da gênese ou ocorrência dos fragipãs, como por exemplo, a presença das caulinitas que podem se organizar face a face produzindo adensamento do solo causado pelo ajuste de partículas (Resende 1982). Para avaliar a ocorrência do efeito cimentante que necessariamente ocorre nos fragipãs, foram avaliadas as presenças de Silício, Alumínio e Ferro nos horizontes. Foi avaliado se houve a presença de hidroxialuminossilicatos que funcionam como intensificadores na cimentação.

As análises por difratometria de raios x (DRX), realizadas nas frações argila, silte e areia dos perfis de solos apresentaram, com base na intensidade das reflexões, semelhanças quanto a ocorrência de quartzo e caulinita. Os minerais identificados nos difratogramas geralmente apareceram em todos os horizontes de cada perfil, com exceções de microclina em alguns horizontes na fração areia de P3 e diásporo identificado na fração areia em horizontes de P4. Isto confirma que a formação dos solos ocorreu a partir de materiais de origem semelhantes, sem horizontes alóctones ou descontinuidade litológica em cada perfil.

Os difratogramas das frações argila indicaram a presença de caulinita como mineral predominante, em todos os horizontes, pois os picos que identificam a presença deste mineral estão presentes em todos os horizontes estudados. Assim como descrito por demais autores em estudos de solos de diferentes climas (ALMEIDA et al., 2018; LIMA NETO et al., 2010). A caulinita é um mineral comumente da fração argila, constituído por uma lâmina tetraedral de silício e uma lâmina octaedral de alumínio, isto a denomina com argilomineral 1:1. O empilhamento dessas camadas que compõe a caulinita resulta na morfologia foliar do mineral que é classificado como filossilicato (MEURER, 2008). Também pode ser originada por neoformação, que ocorre quando há a recombinação de sílica e alumínio liberados no intemperismo de outros minerais.

A presença de silício está constatada em todos os perfis dos solos em estudo, como elemento mais abundante presente, demonstrada nas análises de FRX (Tabela 8), assim como o Al está presente nos horizontes com caráter

fragipânico, segundo determinações por FRX. Estes solos possuem a composição química com elementos necessários para presença de caulinita.

Segundo Resende (1982) e Moreau et al., (2006) o endurecimento dos solos, como expressão de coesão, é favorecido pelo ajuste de caulinitas, quando esta é predominante e está em perfis com baixos teores de óxidos de Fe (goethita) e de Al (gibbsita), sob ciclos de umedecimento e secagem. Isto é explicado pela forma laminar das partículas de caulinita, que possibilitam seu ajuste face a face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica (RESENDE, 1982). Ainda segundo os autores, a cristalinidade mais alta garante melhores ajustes na caulinita, contribuindo para o endurecimento do solo quando seco. Estes requisitos para endurecimento dos solos, onde há baixa presença de óxidos de ferro que não são suficientes para desordenar a composição da caulinita é atendido em P3 e P4, como observado por Lima Neto et al., (2001), mas existe uma quantidade muito baixa de argila nos horizontes subsuperficiais fragipânico e esta gênese não se aplica aos solos em estudo.

Enquanto a caulinita é um mineral que indica ambientes de intemperização, pois é formada em condições de lixiviação de silício moderada a avançada, os difratogramas também apresentam presença de feldspato, indicativo do estágio de intemperismo incipiente a moderado, presente em todos os horizontes na fração areia. Então a fração argila dos solos em estudo é formada predominantemente por caulinitas e a fração areia por quartzo.

O quartzo é um mineral do grupo dos silicatos, com composição química SiO_2 , sua estrutura apresenta tetraedros de silício em arranjo tridimensional, isto o denomina como tectossilicato e confere grande resistência ao intemperismo, por isto é o mineral muito comum nas frações areia e silte dos solos (MEURER, 2008). Os granitos de Porto Alegre, por exemplo, são constituídos por quartzo, feldspatos potássicos e alguns minerais máficos. Esses dados confirmam os obtidos por Medeiros et al. (2013), a partir de difratogramas de raio X de amostra em pó de rocha preservada de granito, apresentando picos de feldspatos e quartzo, sem minerais 2:1. Por isto a mineralogia dos solos de Porto Alegre, resultante deste material de origem, já estudado e conhecido, é de forma generalizada esperada.

O quartzo aparece como predominante na fração areia e silte dos solos em estudo, principalmente em P3 e P4, que são mais pobres de outros minerais, de acordo com as análises apresentadas anteriormente nas tabelas do complexo

sortivo e de FRX. Além destes minerais, cada perfil de solo tem seus difratogramas apresentados a seguir.

O P1 (Figura 19) apresenta na fração argila predomínio de caulinita, com expressão de cristobalita. A cristobalita é uma variedade polimórfica de mineral de sílica, de ocorrência natural como o quartzo e a tridimita. A cristobalita aparece mais freqüentemente como produto de cristalização magmática tardia (ou de inversão polimórfica de prévia tridimita). O que ocorre com estes minerais é o polimorfismo de deslocamento e corresponde tão somente à reorientação espacial das ligações químicas e das unidades tetraédricas. Não envolve rompimento de qualquer ligação química na estrutura cristalina original e envolve quantidades pequenas de energia, sendo muito facilmente reversível (VLACH, 2002). As funções químicas e físicas exercidas no solo por estes minerais são as mesmas do quartzo por exemplo, não contém nutrientes essenciais para as plantas e para este perfil apresentam importância relacionada a textura do solo (MEURER, 2008).

Na fração areia, além do quartzo identificado, há a presença de feldspato, piroxênio e tridimita. A tridimita também é um mineral derivado do polimorfismo do quartzo, é uma entre as espécies cristalinas do silício. É originada de rochas vulcânicas intermediárias e ácidas e apresenta mesma composição química do quartzo (VLACH, 2002). Na fração silte há a presença de quartzo, tridimita, piroxênio e feldspato. O piroxênio é constituído por estrutura de cadeias simples de tetraedros de silício, segundo Meurer (2008), são minerais escuros encontrados em rochas básicas que se alteram facilmente no solo e são responsáveis pela liberação de cátions como Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , além de Al^{3+} , Si^{4+} e O^{2-} , na formação de novos minerais.

O Feldspato é um mineral primário, indicador de intemperismo ainda não avançado. É um tectossilicato como quartzo, mas parte dos tetraedros contém Al^{3+} na posição do Si^{4+} que resulta na deficiência de carga positiva que pode ser compensada com a presença de cátions como K^+ , Na^+ , Ca^+ . Os feldspatos podem ser potássicos, chamados de ortoclásios, ou calco-sódicos, chamados de plagioclásios. Os feldspatos identificados no silte e areia de P1 são feldspatos potássicos (ortoclásio) de composição $KAlSi_3O_8$. A partir de suas alterações são liberados nutrientes no solo, como K^+ , Na^+ , Ca^+ . A origem do feldspato presente neste perfil provém do intemperismo físico do material de origem, pois os feldspatos ocorrem em todas as classes de rochas, mas sua presença indica que

existe incipiência de intemperismo, porque na maioria dos ambientes tende a ser alterado para outras substâncias, como as argilas e os argilominerais (LIRA; NEVES, 2013).

O perfil P2 (Figura 20) apresenta na fração argila caulinita, halita, anortita e crisotila. A anortita é um feldspato constituídos por Ca e Na, com quantidades muito subordinadas de K, é um plagioclásio (VLACH, 2002). A halita, mineral menos instável da Série de Goldich (1938), em relação a ordem de estabilidade dos minerais sob ação de agentes de intemperismo químico, deve ter sido formada no processo de extração dos elementos, para as etapas de estudo da mineralogia. O crisotila é um filossilicato lamelar, de estrutura fibrosa, pertencente ao grupo das serpentinas, encontrado abundantemente na natureza. Sua fórmula química ideal pode ser representada como: $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. É um silicato hidratado de magnésio e tem sua origem oriunda de processos secundários, metamórficos ou hidrotermais. Na fração silte há o predomínio de quartzo e feldspato.

Na fração areia há quartzo, feldspato, microclina, tridimita e diásporo. Microclina é um feldspato alcalino, a presença destes minerais indica que parte do K desse solo pode estar protegido em minerais, de estruturas maiores e mais estáveis, como o caso dos feldspatos (BERTOLUZZI et al., 2005). O Diásporo é um óxido de Alumínio hidratado, $[AlO(OH)]$, é produto da alteração de minerais ricos em alumínio.

Em P3 e P4, há semelhança nos difratogramas da fração argila, com a presença de caulinita, quartzo e feldspato. A fração silte de P3 apresenta quartzo, piroxênio e microclina (Figura 21). Na fração areia há presença de quartzo e microclina, sem picos identificando de outros minerais. A pouca presença de minerais identificados nos difratogramas está de acordo com os resultados das análises químicas, teores de elementos no complexo sortivo, textura arenosa, dos valores da atividade de fração argila e Al, dos perfis P3 e P4 em estudo. Em P4 (Figura 22), na fração silte há presença de quartzo, piroxênio e microclina. Na fração areia, há presença de piroxênio e diásporo.

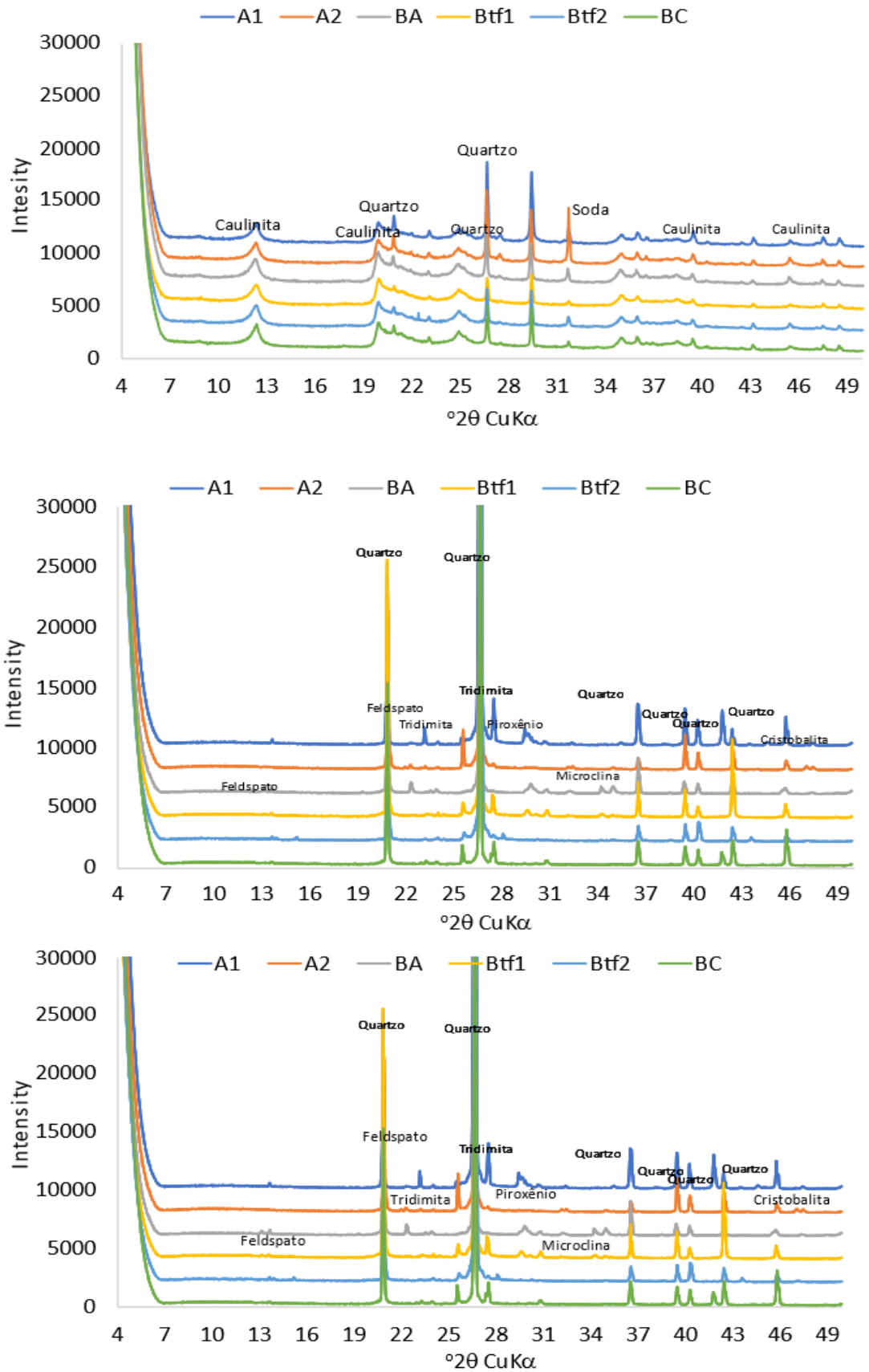


Figura 19. Difratogramas de Raio-X da fração argila (superior), silte e areia do perfil P1.

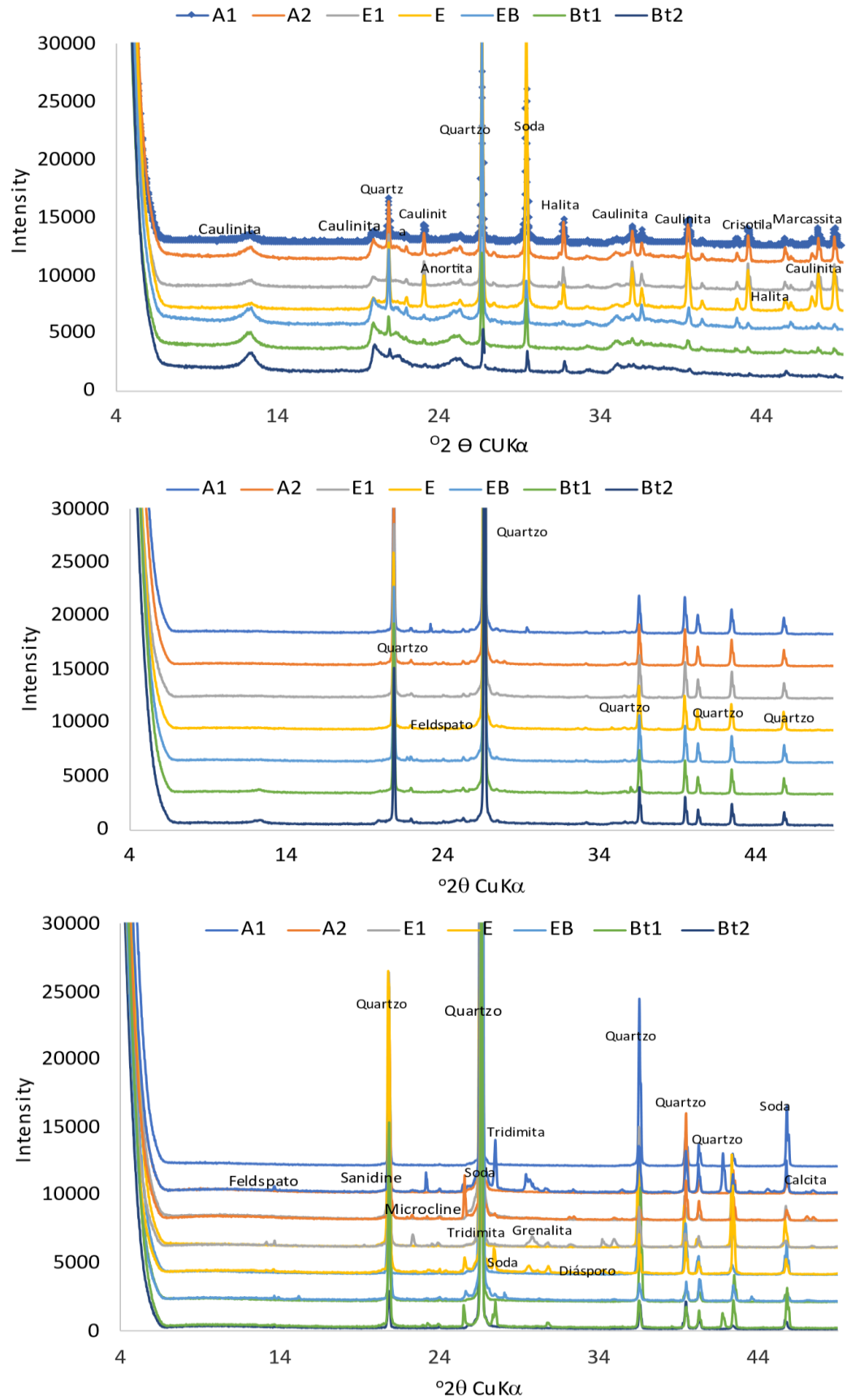


Figura 20. Difratoqramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P2.

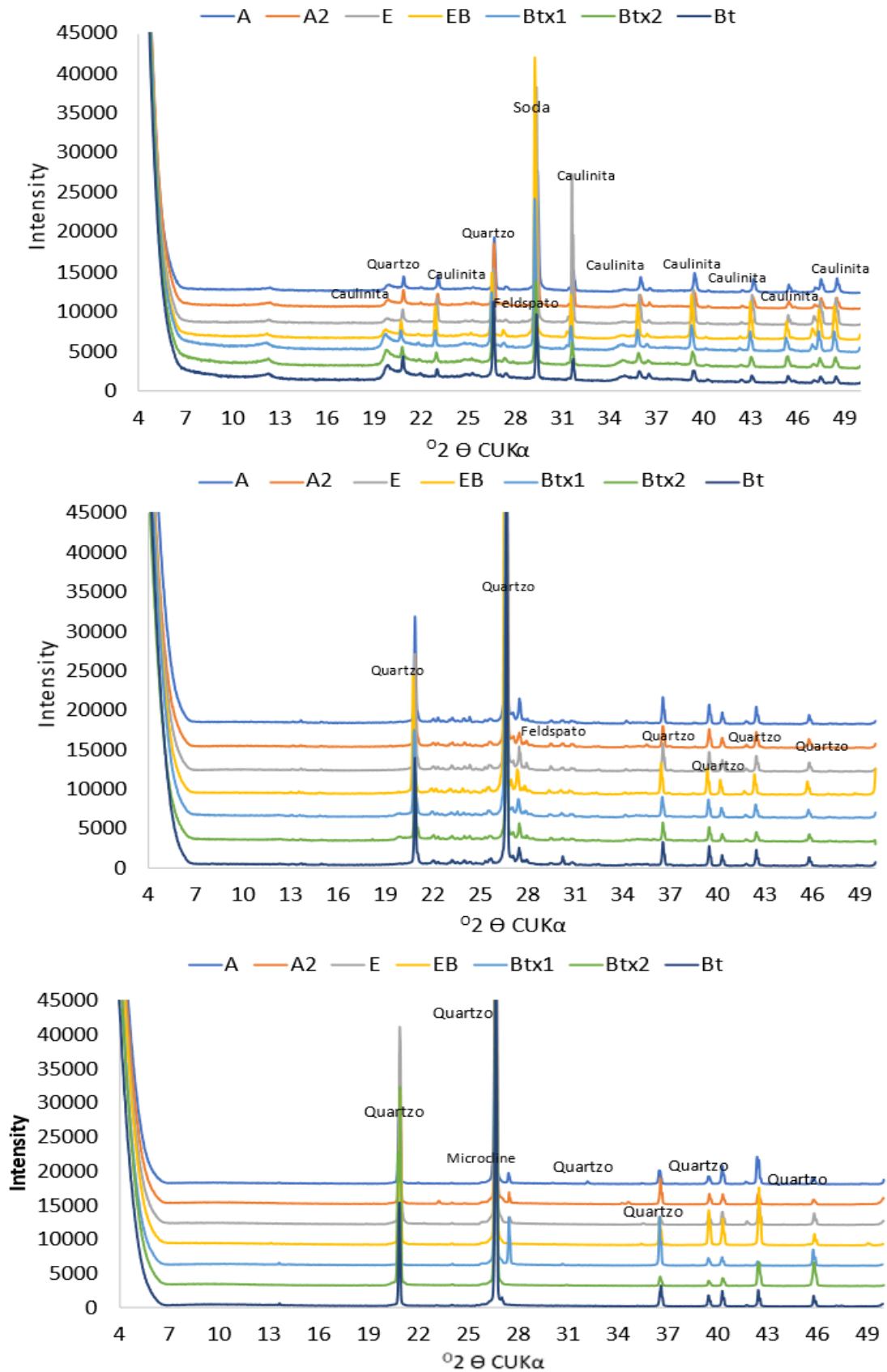


Figura 21. Difratogramas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P3.

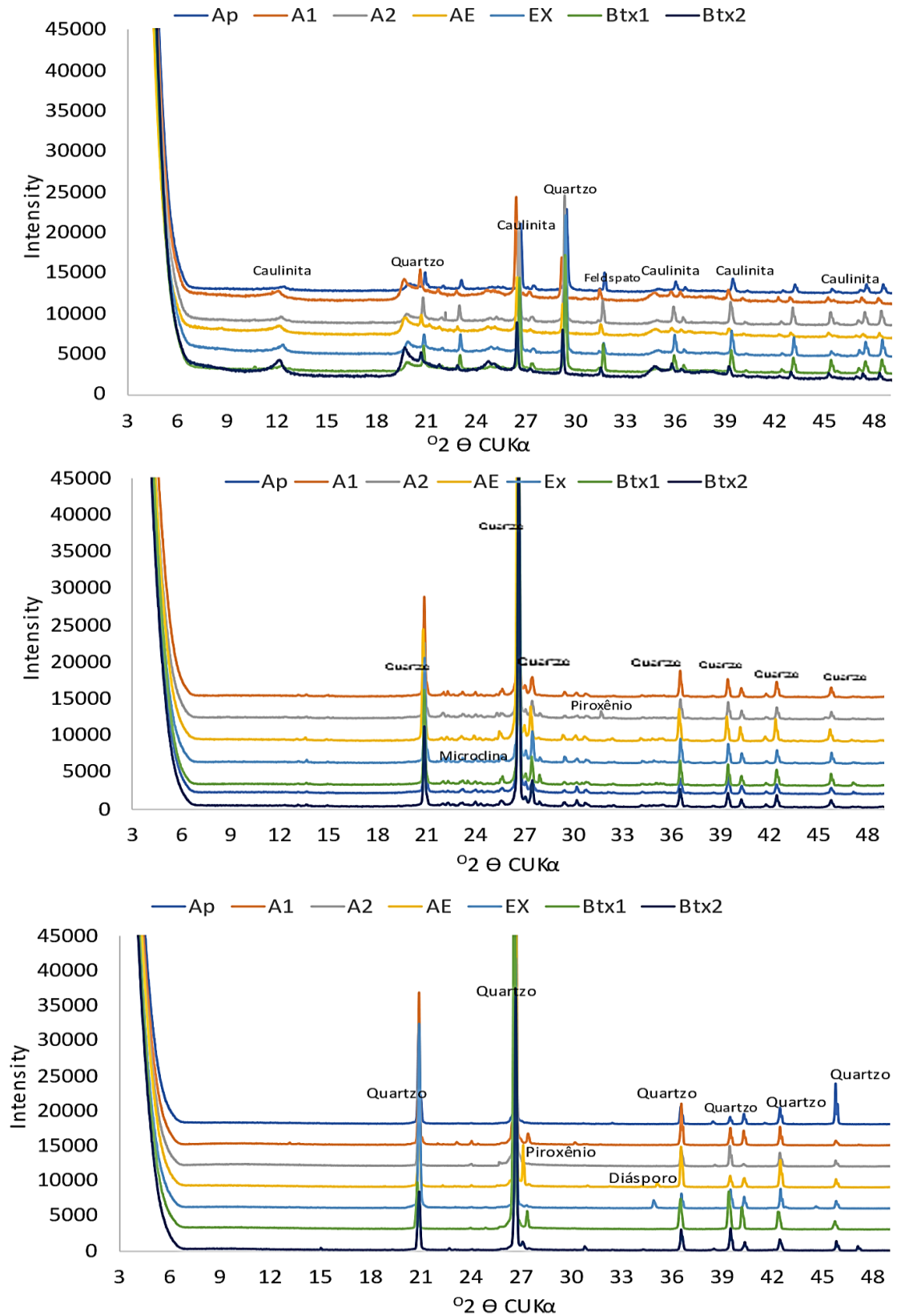


Figura 22. Difratoformas de Raio-X da fração argila, silte e areia do perfil P4.

6.7 Gênese e classificação dos solos

P1- PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico espesso FTd

O que identifica o Plintossolo é a presença de horizonte de plintita em teor $\geq 15\%$, que caracteriza o horizonte diagnóstico plíntico. A formação das plintitas e gênese do plintossolo é resultado da acumulação de Fe, aportado durante ciclos de umedecimento e secagem, bem como a cristalização de óxidos produzindo a sua cimentação (KAMPF; CURI, 2012). O processo atuante em P1 é a plintização, que ocorre com a dessilicação e concentração de óxidos de Ferro.

O P1 apresenta expressiva plintização e obedece ao critério de preponderância, profundidade e manifestação de atributos que evidenciam a formação de plintitas. Apresenta horizonte diagnóstico subsuperficial plíntico (Btf2), iniciado dentro de 200 cm da superfície, precedido de horizonte com mosqueados em abundância (Btf1), maior que 20%. Nestes horizontes apresenta dureza quando seco e quebradiceza, mas em expressão considerada em desenvolvimento para caráter fragipânico, sem cimentação suficiente para ser descrito como fragipã típico.

É classificado com caráter argilúvico no segundo nível categórico, por possuir concentração de argila suficiente nos subhorizontes B para identificação como B textural, apresenta gradiente textural (B/A), maior que 1,7.

É classificado como “Ta distrófico” no terceiro nível categórico do SiBCS, por apresentar a saturação por bases (V%) baixa em todos os horizontes e a ATA alta até a profundidade de Btf1, no primeiro horizonte com plintitas.

É Espesso, no quarto nível categórico, por possuir horizonte plíntico iniciando entre 100 e 200 cm da superfície.

P2 -ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico PVd

Um dos principais processos de formação do solo, responsável por diferenciação textural, conseqüentemente horizontes B mais argilosos, são a eluviação e iluviação de argila dispersa em água com percolação no solo, a lessivagem (KAMPF; CURI, 2012). A Lessivagem designa o movimento em suspensão de partícula da fração argila, principalmente argila fina com conseqüente empobrecimento de argila em horizontes superficiais (eluvitados), com enriquecimento de horizonte subsuperficial (iluvitado), assim como

encontrado em P2. O P2 apresenta desenvolvimento de horizonte B textural (Bt1) com 567 g kg de argila, imediatamente abaixo do horizonte EB, vinculado com atributos que evidenciam a baixa ATA. Os horizontes Bt1 e Bt2 apresentam dureza e quebradicidade, mas não expressam cimentação suficiente para serem descritos como fragipãs.

O P2 é classificado como Vermelho, no segundo nível categórico, por apresentar matiz 2,5 YR na maior parte dos primeiros 100 cm de horizonte B, onde Bt1 apresenta cor 2,5YR 3/4 (50 cm) e Bt2 2,5YR 3/6 (20 cm).

É classificado como Tb Distrófico por apresentar a saturação por bases (V%) baixa em todos os horizontes. É classificado como Arênico, no quarto nível categórico, por possuir textura arenosa desde a superfície do solo até no mínimo 50 cm e não ultrapassar os 100 cm de profundidade. Neste perfil a textura arenosa está presente nos horizontes A1, A2, E1 e E2 até 75 cm de profundidade, segundo os resultados da análise física de textura (Tabela 5).

P3- PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico espesso fragipânico SXe

O processo pedogenético Ferrólise, que consiste num conjunto de reações que incluem oxidação-redução, hidrólise, acidólise e dessilicação, explica a formação dos planossolos. A ferrólise está associada aos solos hidromórficos com horizontes superficiais eluviais álbicos, acima de horizontes subsuperficiais mais argilosos (KAMPF; CURI, 2012), onde há a destruição de argilominerais do horizonte superficial por oxidação do ferro, produzindo gradiente textural Bt. Para isto foram necessárias condições de redução com ciclos de alagamento, que são propiciadas nos perfis P3 e P4. Além disto, a destruição dos argilominerais origina horizontes superficiais menos argilosos e mais ácidos, sobre um subsolo mais argiloso e menos ácido (KAMPF; CURI, 2012), como pode ser constatado nos perfis em estudo.

Em relação a gênese dos fragipãs, é explicada pelo processo físico de rearranjo e acúmulo de partículas de silte e areia fina preenchendo os espaços porosos do solo, formando o entupimento e diminuição efetiva de porosidade nos horizontes cimentados.

P3 Apresenta horizonte B plânico, subjacente a horizonte EB, com transição abrupta, dentro do especificado para horizonte B textural. Possui o horizonte responsável pela formação de lençol de água suspenso, de existência temporária, com adensamento e horizonte pã restringindo a percolação de água

acima do horizonte B. Este perfil apresenta cor da matriz 10 YR, com croma ≤ 3 (10YR 4/2) e é classificado como Planossolo.

É classificado como Háplico por não atender requisito para ser Nátrico, (caráter sódico ou solódico). É classificado como Eutrófico por possuir saturação por bases alta ($V < 50\%$) na maior parte dos horizontes B, dentro de 120 cm a partir da superfície.

É espesso, no quarto nível categórico, por apresentar textura franco arenosa, segundo a análise física de textura, desde a superfície do solo até o início do horizonte B plânico, que ocorre a uma profundidade superior a 100 cm. Foi nomeado fragipânico por apresentar fragipãs em três horizontes (EBx, Btx1 e Btx2) somando 105 cm de cimentação no perfil.

P4-PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico fragipânico SXe

P4 é classificado como planossolo por apresentar horizonte subsuperficial eluvial (E), de textura mais leve, que contrasta abruptamente com horizonte B imediatamente subjacente adensado, com acentuada concentração de argila e permeabilidade lenta constituído por um horizonte fragipã (Btx1). Este horizonte é responsável pela formação de lençol d'água sobreposto. A acumulação de sílica secundária no solo favoreceu o desenvolvimento de camadas cimentadas, que apresentam alta densidade e cimentação aparente quando secos, mas que esboroam em água.

É classificado como Háplico por não atender requisito para ser Nátrico, (caráter sódico ou solódico). É classificado como Eutrófico por apresentar horizontes com saturação por bases alta no perfil.

Apresenta textura franco arenosa da superfície do solo até o horizonte B plânico, ocorrendo a partir de 110cm de profundidade, não se enquadrando em nenhuma classe do quarto nível categórico, sendo considerado Típico. Mas apresenta fragipãs nos horizontes Ex, Btx1 e Btx2, somando 80 cm de horizontes com grande expressão de dureza e pseudocimentação no perfil, assim foi nomeado fragipânico.

7. CONCLUSÕES

As condições ambientais como material de origem, relevo e clima da Região Metropolitana de Porto Alegre propiciam a formação de solos com feições fragipânicas, dureza e quebradicidade em estágio incipientes de formação em Eldorado do Sul e Viamão, e fragipãs típicos em solos de Porto Alegre.

Solos fragipânicos são localizados em bioma e clima não registrados anteriormente no país. Foram geradas novas informações sobre incidência, leitura da paisagem, caracterização, atributos químicos, físicos e mineralógicos de fragipãs existentes no sul do país, no bioma Pampa, no município de Porto Alegre.

Os solos com fragipã, Planossolos P3 e P4, apresentam textura franco arenosa, com teores baixos de argila em todos os horizontes com pseudocimentação. Enquanto os solos com feições fragipânicas menos desenvolvidas entre os quatro perfis em estudo, P1 e P2, apresentaram textura variando de franco argilosa a argila, com maiores quantidades de argila em todo o perfil de solo.

A densidade dos solos fragipânicos é muito alta em todos os horizontes endurecidos, com valores acima do limite crítico de compactação, mesmo com baixos teores de argila presentes.

Os teores de Fe, Si e Al extraídos com o ditionito e com o oxalato foram baixos tanto em horizontes não fragipânicos como em horizontes com fragipã. Não há indícios suficientes, a partir das dissoluções seletivas realizadas, de participação dos elementos Fe, Si e Al atuando como agentes cimentantes na gênese dos fragipãs.

Os fragipãs dos solos de Porto Alegre, por serem originados pelo acúmulo de silte e areia fina nos horizontes não apresentam características mineralógicas especiais.

A gênese dos fragipãs em solos de Porto Alegre se dá a partir de efeitos físicos de rearranjo e acúmulo de partículas de silte e areia fina nestes solos de textura grosseira, a partir do preenchimento dos microporos do solo, formando a obstrução e diminuição efetiva de porosidade nos horizontes adensados.

Os solos em estudo foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico espesso, ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico, PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico espesso fragipânico e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico fragipânico.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos fragipânicos ainda são pouco estudados e conhecidos em diferentes regiões do país. Esta pesquisa apresentada inicia os registros sobre os fragipãs no Sul e prevê a necessidade de mais investigação, para o entendimento dos processos de formação e ocorrência dos fragipãs.

Ressalta-se a importância de estudos complementares de Micromorfologia dos solos e de outra abordagem sobre dissoluções seletivas para horizontes fragipânicos.

Estudos físico-hídricos, sobre limitações de usos e manejos dos solos podem complementar as informações sobre fragipãs em clima subtropical.

9. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. *et al.* Mineralogia da argila e propriedades químicas de solos do Planalto Norte Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 2, p. 267-277, 2018.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711–728, 2013.
- AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 177-198, 2008.
- BERTOLUZZI, E. C. *et al.* Alterações na mineralogia de um Argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 327-335, 2005.
- BERTRAND, G. Le paysage entre la nature et la société. *In*: ROGER, A. (ed.). **La théorie du paysage en France 1974-1994**. Seyssel: Champ Vallon, 1995. p. 88-108.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.
- BOCKHEIM, J. G.; HARTEMINK, A. E. Soils with fragipans in the USA. **Catena**, Cremlingen, v. 104, p. 233-242, 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 1 mapa. Escala 1:750.000. Projeção Policônica. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf. Acesso em: 21 nov. 2016.
- BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Cristal structures of clay minerals and their X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.
- BUOL, S. W. *et al.* **Soil genesis and classification**. 4th ed. Iowa, USA: Panima, 1997. 544 p.
- CORRÊA, M. M. *et al.* Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e Fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008.
- CORRÊA, M. M. *et al.* Formas de ferro, silício e, ou, alumínio na gênese de Fragipãs e horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 940-949, 2015.
- CSR/IBAMA - CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO/IBAMA. **Projeto de Monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite -**

PMDBBS. Brasília, 2020. Disponível em: siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/PMDBBS%20-%20PAMPA.html. Acesso em: 12 jan. 2022.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. *In*: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v. 1, p. 505- 572.

DALBEM, R. P. *et al.* Delimitação de unidades de paisagem: conceito e método aplicados ao município de Paranaguá/ PR/ Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP, 2005. p. 3429-3438.

DIEL, R. **Gerenciamento de recursos hídricos: um estudo de caso no Assentamento Filhos de Sepé, Viamão**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERREIRA, M. M. *et al.* Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 507-514, 1999.

FILIZOLA, H. F. *et al.* Os Fragipãs e Duripãs das depressões dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro: uma proposta de evolução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 4, p. 947-963, 2001.

GIASSON, E.; NASCIMENTO, P. C. **Levantamento semidetalhado dos solos do assentamento Filhos de Sepé Tiarajú - Viamão/RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2008.

GOLDICH, S. S. A study in rock-weathering. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 17-58, 1938.

GUIDOLINI, J. F. **Atributos físicos e químicos de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso da terra (SUTs)**. 2015. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia: guia prático de campo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 133 p.

JACOMINE, K. T. P. **Fragipã em solos de Tabuleiros: características, gênese e implicações no uso agrícola**. 1974. 83 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Rural de Pernambuco, Recife, 1974.

KÄMPF, N. *et al.* Mineralogia de solos brasileiros: principais aspectos. *In*: KER, J. C. *et al.* (ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 81-145.

KÄMPF, N.; DICK, D. P. Óxidos de ferro em Cambissolos Brunos do Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, p. 183-188, 1984.

KÄMPF, N. O ferro no solo. *In*: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., 1988, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1988.

KÄMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). *In*: KER, J. C. *et al.* (ed.) **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

LIMA, H. N. *et al.* Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, n. 1, p. 59-68, 2006.

LIMA NETO, J. A. *et al.* Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 473-486, 2010.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 110 –117, 2013.

LOZET, J. M.; HERBILLON, A. J. Fragipan soils of Condroz (Belgium): mineralogical, chemical and physical aspects in relation with their genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 5, p. 325-343, 1971.

MACHADO, C. *et al.* Abordagem participativa aplicada ao manejo de solos em um assentamento rural no município de Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, [p. 1-5], 2020. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, realizado em São Cristóvão, RJ em 2020.

MEDEIROS, P. S. C. *et al.* Caracterização e classificação de solos em topossequencia granítica na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 7, p. 1210-1217, 2013.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Oxford, v. 5, p. 317-27, 1960.

MELLO, O. Levantamento em série dos solos do Centro Agronômico. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 7-155, 1966.

MENEGAT, R. *et al.* Mapa geológico. *In*: MENEGAT, R. *et al.* (org.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2018. p. 21-24.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 344 p.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre-RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 113-138, 2011.

MOREAU, A. M. S. S. *et al.* Gênese de horizonte coeso, Fragipã e Duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1021-1030, 2006.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e de um Planossolo Háptico Eutrófico solódico numa topossequência de gnaiss no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 607-618, 2002.

NORTON, L. D. *et al.* Fragipã bonding in a late Wisconsinan loess-derived soil in east-central Ohio. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, n. 6, p. 1360-1366, 1984.

NUNES, F. C. *et al.* Fragipãs e Duripãs: estruturas pedogenéticas ou sedimentares? *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: SBCS, 2013. [p. 1-4]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94016/1/fragipas-e-duripaes.pdf>. Acesso em: 4 maio 2022.

OLIVEIRA NETO, M. B. **Pedogênese de uma topossequência no agreste de Pernambuco**. 1992. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1992.

PEREIRA, F. S. *et al.* Qualidade física de um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 87- 95, 2011.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Formas extraíveis de ferro em solos do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 371-382, 1999.

PUNTEL, G. A. **Paisagem**: uma análise no ensino da Geografia. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1982. 100 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Demografia: região metropolitana de Porto Alegre - RMPA. *In*: ATLAS socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/regiao-metropolitana-de-porto-alegre-rmpa>. Acesso em: 6 maio 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Biomás**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/biomás>. Acesso em: 6 maio 2022.

RODRIGUES e SILVA, F. B.; LEPRUN, J. C. Duripãs em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos do [...]**. Viçosa, MG: SBCS, 1997. Resumo 5-036, p. 329.

ROLIM NETO, F. C.; SANTOS, M. D. C. Gênese de solo arenoso com lamelas e Fragipã no agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 2, p. 243-253, 1994.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxionomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

RUHE, R. V. Elements of the soil landscape. *In*: TRANSACTIONS OF THE 7TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1960, Madison, Wisc., USA. **Proceedings of the [...]**. Madison: International Society of Soil Science, 1960. v. 4, p. 165-170.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 102 p.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 633 p.

SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection and application. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, n. 7, p. 570-590, 1998.

SCHNEIDER, P. *et al.* Solos de Porto Alegre. *In*: HASENACK, H.; WEBER, E. J.; MARCUZZO, S. (coord.). **Diagnóstico ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação e ocupação**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2008, p. 28-40.

SCHNEIDER, P.; KLAMPT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do Solo: subsídio para caracterização e interpretação de solos a campo**. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72 p.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-lösung. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Berlin, v. 105, n. 3, p. 194-202, 1964.

SCHWERTMANN, U. The effect of pedogenic environments on iron oxides minerals. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, p. 171-200, 1985.

SFB - SISTEMA FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas naturais**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-biomás-e-suas-florestas>. Acesso em: 6 maio 2022.

SILVA, F. B. R.; LEPRUN, J. C.; BOULET, R. Duripãs em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: mineralogia, micromorfologia e gênese. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

SILVA, G. F. *et al.* Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste pernambucano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25- 35, 2015a.

SILVA, L. F. *et al.* Genesis, morphology and mineralogy of Planosols developed from diferente parente materials in Southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 341, p. 46-58, 2019.

SILVA, L. F. *et al.* Soil vatiability in different landscape position in the Porto Alegre Botanical Garden, Southern Brazil. **Ciência a Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 5, p. 477-487, 2015b.

SILVA, M. S. L. **Efeito do cultivo contínuo da cana de açúcar em propriedades de solos dos tabuleiros do Estado de Alagoas**. 1989. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1989.

SIMONSON, R. W. Modern concepts of soil genesis: a symposium: utline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v. 23, n. 2, p. 152-156, 1959.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture/Natural Resources Conservation Service, 2014. 372 p.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; FONTANA, A. Ataque sulfúrico. *In*: TEIXEIRA, P. C. *et al.* (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF : Embrapa, 2017. p. 255-258.

VLACH, S. R. F. A classe dos tectossilicatos: guia geral da teoria e exercício. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-49, 2002.

Apêndice 1- Descrições dos perfis de solo

Perfil 1: Eldorado do Sul

Data: 21/06/2021

Localização: Estação Experimental da UFRGS; Barranco às margens de estrada interna entre áreas experimentais.

Coordenadas 30. 095327, -51 682 342.

Uso e manejo: Sem uso Agrícola; Área entre unidade experimental e estrada.

Altitude: 27 m.

Material de origem: Rocha granítica.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: Suave ondulado.

Relevo regional: Suave ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação: campo nativo.

Uso atual: Margem de estrada coberto com campo nativo próximo à área experimental com espécies forrageiras. Descrito e coletado por: Edsleine Ribeiro, Paulo César do Nascimento, Daniel Krum, Jeferson Dariva.

Descrição morfológica

- A1 0-20 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); areia franca; moderada, pequena, granular; friável; solta; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 20-55 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); areia franca; moderada, média/grande, granular; friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- BA 55-70 cm; 10YR 4/4 (úmida); franco arenosa; moderada, média, blocos subangulares; friável; Não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Btf1 70-95 cm; 10YR 5/3 (úmida) mosqueado 10YR 4/6 e 7,5YR 5/8; franco arenosa; forte, grande, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Btf2 95-135 cm; 10 YR 5/2 (úmida) mosqueado 7,5YR 5/8 e 10R 4/8; Franco arenosa; forte, grande, blocos subangulares; firme; Não plástica e Ligeiramente pegajosa.
- BC 135-160+ cm; 10YR 6/2 (úmida); Franco arenosa; forte, muito grande, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa

RAÍZES- comuns finas, fascicular no horizonte A1, ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES- mosqueados e plintitas destacáveis presentes a partir de 70 cm de profundidade.

Perfil 2: Viamão

Data: 02/07/2021

Localização: Assentamento Filhos de Sepé em Viamão-RS; Barranco às margens de estrada interna entre residências, áreas de preservação e cultivos, Coordenadas 30° 5'30.76'S e 50° 49'16.38' O.

Uso e manejo: Sob Bosque de Eucalipto;

Altitude: 3m.

Material de origem: Rocha granítica.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: Forte ondulado

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação: Bosque de Eucalipto.

Uso atual: Sob Bosque de Eucalipto as margens de estrada. Descrito e coletado por: Edsleine Ribeiro, Paulo César do Nascimento, Daniel Krum, Marthin Zang.

Descrição morfológica

- A1 0-15 cm; 7,5YR 4/6 (úmida); franco arenosa; fraca, pequena, granular; solta; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 15-40 cm; 7,5YR 4/4 (úmida); franco argilo arenosa; fraca, pequena, granular e moderada, média, bloco subangular; friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- E1 40-60 cm; 7,5YR 4/4 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, grande, blocos subangulares; friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- E2 60-75 cm; 7,5YR 5/3 (úmida); franco arenosa; fraca, pequena, granular e moderada, média, blocos subangulares; friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- EB 75-90 cm; 7,5YR 5/4 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, grande, blocos subangulares; firme; muito firme; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt1 90-110 cm; 2,5 YR 3/4 (úmida); Argila; moderada, grande, blocos subangulares; muito firme; plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt2 110-130 cm; 2,5YR 3/6 (úmida); argila; moderada, grande, blocos subangulares; muito firme; plástica e pegajosa.

RAÍZES- comuns finas, fascicular no horizonte A1, poucas médias no A2, poucas grossas nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES- Dureza e quebradiceza presentes em Bt1 e Bt2.

Perfil 3: Lami 1

Data: 06/07/2021

Localização: Propriedade privada, agropecuária as margens da Estrada Armando Inácio da Silveira, 01 - Extrema, Porto Alegre - RS

Coordenadas: -30.227179, -51.055614

Uso e manejo: Com campo nativo, usado como piquete para pastagem animal.

Altitude: 12 m.

Material de origem: Rocha granítica.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: plano

Relevo regional: plano

Erosão: não aparente.

Drenagem: imperfeitamente drenado.

Vegetação: campo nativo e pastagem.

Uso atual: Piquete para pastagem animal sem uso no momento da descrição de campo. Descrito e coletado por: Edsleine Ribeiro, Paulo César do Nascimento, Daniel Krum, Élvio Giasson.

Descrição morfológica

- A 0-20 cm; 10YR 3/3 (úmida); franco arenosa; fraca, média, granular; friável não plástica e não pegajosa; transição difusa e plana.;
- A2 20-55 cm; 10YR 3/2 (úmida); franco arenosa; fraca, média, granular e moderada, média, bloco subangular; friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- E 55-80 cm; 10YR 4/2 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, grande, blocos subangulares; firme; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- Btx1 (EBx) 80-110 cm; 10YR 3/2 (úmida); franco arenosa; forte, grande, blocos subangulares; muito firme; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- Btx2 110/120-140 cm; 10 YR 4/2 (úmida) mosqueado 10 YR 5/2; franco; moderada, grande, blocos bangulares; muito firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- Btx3 140-160 cm; 10YR 4/2 (úmida) 7,5YR 5/3 mosqueado; franco; moderada, grande, blocos bangulares; muito firme; plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt 180-185 cm; 10 YR 5/3 (úmida) mosqueado 7,5 YR 5/8; franco argilosa; moderada, grande, blocos bangulares; muito firme; plástica e pegajosa.
RAÍZES- comuns finas, fascicular no horizonte A, poucas finas em A2, ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES- presença de dureza e quabradicidade a partir de 80 cm de profundidade; Manchas de cores d

iferentes no horizonte Btx1.

Perfil 4: Lami 2

Data: 21/07/2021

Localização: Propriedade privada, Lami Sul Materiais de Construção. R. Luiz Corrêa da Silva, 2105 - Lami, Porto Alegre – RS.

Coordenadas: -30.213611, -51.062917

Uso e manejo: sem uso e manejo agrícola.

Altitude: 18 m.

Material de origem: Rocha granítica.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: plano

Relevo regional: plano

Erosão: não aparente.

Drenagem: imperfeitamente drenado.

Vegetação: gramíneas.

Uso atual: com gramíneas sem uso e manejo agrícola. Descrito e coletado por: Edsleine Ribeiro, Daniel Krum, Jeferson Dariva.

Descrição morfológica

- Ap 0-25 cm; 10YR 4/3 (úmida); franco arenosa; moderada, média, granular; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A1 25-50 cm; 10 YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 50-70 cm; 10 YR 3/4 (úmida); argilo arenosa; moderada, média e grande, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- AE 70- 85/90 cm; 10 YR 4/3; franca argilo arenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara ondulada.
- Ex 85/90- 110 cm; 10 YR 6/3 (úmida); franco arenosa; forte, grande, blocos subangulares; firme; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- Btx1 110- 125/130 cm; 10 YR 6/4 (úmida) 10 YR 5/8; franca argilo arenosa; moderada, grande, blocos subangulares; muito firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- BTx2 125/130- 170+ cm; 10 YR 6/4 (úmida) 10 YR 5/8 mosqueado; franca argilo arenosa; moderada, grande, blocos subangulares; muito firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES- muitas finas fasciculadas no horizonte Ap, ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES- Acúmulo de água no horizonte Ex. Dureza e alta densidade abaixo de Ex.