

Levantamento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da bacia do arroio Faxinal

Saulo Guilherme da Silva⁽¹⁾,
Élvio Giasson⁽²⁾,
Antonny Francisco Sampaio de Sena⁽³⁾,
Volnei Dal Bosco⁽⁴⁾ e
Eduardo Flores Bampi⁽⁵⁾

Data de submissão: 18/6/2024. Data de aprovação: 10/9/2024.

Resumo – O levantamento de solos é fundamental para o planejamento, uso e ocupação racional das terras. Visando indicar o uso mais adequado das terras, foi realizado o levantamento detalhado dos solos da bacia do Arroio Faxinal. O uso de sistemas de informações geográficas, a partir da utilização de mapas temáticos básicos e modelo digital de elevação (MDE), possibilita uma melhor compreensão das relações entre a paisagem e as classes de solo. Seguindo o modelo de relação solo-paisagem, utilizou-se o método convencional para o levantamento dos solos da bacia hidrográfica, contudo, para superar o delineamento manual e para efeito comparativo, adotou-se o mapeamento com auxílio do LandMapR, que emprega um delineamento semiautomático das unidades de mapeamento. Nos seus 6.426 hectares, foram mapeados, em diferentes fases de relevo, Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Gleissolos Melânicos, constituindo quatro unidades de mapeamento de solos (UMs). A avaliação da concordância entre os dois mapas produzidos foi de 32% e o Índice Kappa foi de 17%. A avaliação da aptidão agrícola das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal indica que 53,8% são aptas para fruticultura e/ou silvicultura e/ou pastagem, 24,8% aptas para culturas anuais/olericultura, 20,8% aptas para pastagens e 0,6% aptas para culturas anuais/olericultura e/ou pastagem.

Palavras-chave: Avaliação da terra. Classificação interpretativa de solos. Levantamento de solos. Mapeamento de solos. Uso da terra.

Soil survey and assessment of the agricultural suitability of the land in the Arroio Faxinal basin

Abstract – Soil surveys are essential for the rational planning, use and occupation of land. To indicate the most appropriate use of the land, a detailed survey of the soils in the Arroio Faxinal basin was carried out. The use of geographic information systems, using basic thematic maps and digital elevation models (DEM), enables a better understanding of the relationships between the landscape and soil classes. Following the soil-landscape relationship model, the conventional method was used to survey the soils of the watershed, but to overcome manual delineation and for comparative purposes, mapping was adopted with the aid of LandMapR, which uses a semi-automatic delineation of the mapping units. In its 6,426 hectares, Cambisols, Leptosols, Regosols and Gleysols were mapped in different relief phases, making up four soil

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS. *saulo.guilherme@incra.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4786-4213>.

² Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. giasson@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3659-6873>.

³ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS. agro.antonny.sampaio@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8339-9747>.

⁴ Engenheiro Agrônomo do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE, de Caxias do Sul/RS. vdalbosco@samaecaxias.com.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0369-4110>.

⁵ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS. efloresbampi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3399-7746>.

mapping units (UMs). The agreement between the two maps was 32% and the Kappa Index was 17%. The assessment of the agricultural suitability of the land in the Arroio Faxinal catchment area indicates that 53.8% is suitable for fruit growing and/or forestry and/or grazing, 24.8% is suitable for annual crops/ericulture, 20.8% is suitable for grazing and 0.6% is suitable for annual crops/ericulture and/or grazing.

Keywords: Land evaluation. Interpretative soil classification. Soil survey. Soil mapping. Land use.

Introdução

O conhecimento das propriedades do solo e sua associação a outros fatores ambientais (relevo, geologia, clima, vegetação etc.) e socioeconômicos possibilita a predição de sua resposta aos diferentes tipos de uso de forma que auxilie na tomada de decisões para o planejamento, implementação e expansão de atividades agrícolas e não agrícolas, com vistas a obter-se o máximo retorno possível sem causar degradação ambiental.

Neste contexto, o levantamento tem a função de fornecer dados sobre as propriedades dos solos, a partir dos quais pode-se gerar uma multiplicidade de informações aplicadas, como por exemplo: classificar a aptidão agrícola das terras, escolher áreas preferenciais para a implementação de projetos de desenvolvimento agrícola e urbano, selecionar áreas passíveis de serem usadas para descarte de resíduos industriais e domésticos, elaborar avaliação de imóveis rurais, desenvolver projetos de assentamentos rurais, identificar áreas que requerem controle de processos erosivos e planejar a gestão de bacias hidrográficas. Ressalta-se que para cada finalidade é necessário realizar levantamentos em escalas diferentes.

No Brasil, a carência de informações detalhadas sobre os solos brasileiros é um sério problema para o desenvolvimento nacional. Para o planejamento e ocupação territorial em nível de propriedades e bacias hidrográficas é necessário realizar levantamentos pedológicos em escala maior ou igual a 1:20.000. A bacia do Arroio Faxinal, localizada em Caxias do Sul (RS), utiliza os recursos hídricos captados para o abastecimento humano, irrigação, dessedentação animal, turismo e lazer.

O estudo mais detalhado de caracterização e mapeamento de solos que recobria a bacia do Faxinal é o Levantamento Semidetalhado de Solos da Serra Gaúcha (Flores *et al.*, 2007), na escala de 1:50.000.

Este estudo objetivou realizar um levantamento detalhado dos solos na escala de 1:20.000 e desenvolver um sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.

O programa LandMapR, a partir do MDE, gera uma imagem raster com classificação automatizada de 15 classes de formas do relevo, que expressam o padrão topográfico da superfície e sua posição relativa na paisagem. O algoritmo usa cinco atributos do terreno: declividade, orientação da superfície, curvatura, comprimento de fluxo (extensão do escoamento superficial) e acúmulo de fluxo (área de contribuição/captação a montante). E emprega funções fuzzy para agrupar células do arquivo matricial segundo medidas morfométricas e posição relativa entre o topo e a base da encosta. Dessa forma, os mesmos conceitos de classificação podem ser adaptados a diferentes padrões de relevo (Bonfatti, 2020).

A classificação da aptidão agrícola de uso das terras é um sistema baseado na capacidade de produzir cultivos e pastagens sem degradar as terras por um longo período. Esta classificação avalia o melhor uso para uma determinada porção de território, evidenciando as limitações existentes para tipos de uso mais ou menos específicos (Costantini, 2023). A classificação interpretativa para o uso e manejo das terras consiste na previsão do comportamento dos solos, sob manejos específicos, sob certas condições ambientais e socioeconômicas. É, normalmente, fundamentada em interpretação e reclassificação das unidades de mapeamento presentes em um levantamento taxonômico de solos (Almeida, 2023). No Brasil, os sistemas de classificação das terras mais utilizados são: o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (SCCU),

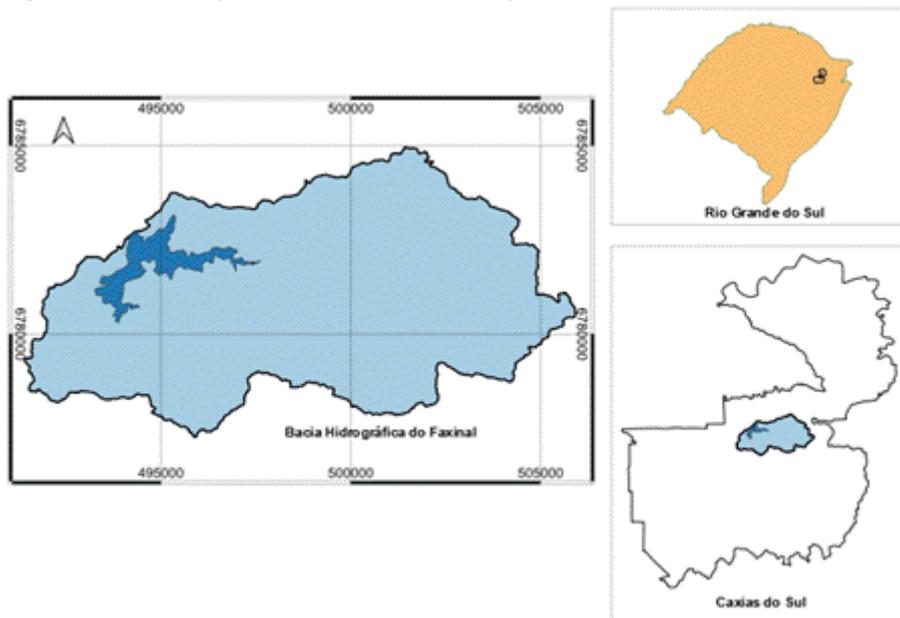
adaptado por Lepsch *et al.* (1991) do “Land Capability Classification”, concebido por Klingebiel e Montgomery, e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT), proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), que foi derivado do sistema FAO. Para a aplicação do SAAAT em escala de propriedade, essa metodologia deve sofrer ajustes. Estudos nesse sentido foram realizados por Schneider, Giasson e Klamt (2007), Hesseln (1997), Neubert (1995) e Streck (1992) para desenvolver sistemas adequados para classificação interpretativa em escala detalhada. O princípio desta metodologia baseia-se na interpretação de características do meio físico (tipo de solo, relevo, clima, hidrologia, pedregosidade, outros), avaliando-se os fatores limitantes ao uso agrícola, considerando os impedimentos existentes para a execução de atividades práticas de manejo das culturas, riscos de degradação do solo e as limitações que comprometam a produtividade das culturas. Selecionados os fatores limitantes ocorrentes, definem-se os parâmetros qualitativos e/ou quantitativos correspondentes para enquadrar as unidades de mapeamento. Desta maneira, organizam-se os fatores avaliados (fatores limitantes) em forma de quadros-guias para a classificação da aptidão agrícola das terras e recomendação de práticas de manejo de conservação do solo (Schneider; Giasson; Klamt, 2007). As características do solo e do meio ambiente selecionadas para distinguir as classes de aptidão são organizadas no quadro-guia onde, para cada combinação destas características em um nível categórico mais elevado (Classe de Aptidão), é indicado o uso agrícola da terra mais intenso possível e, em um nível inferior (Subclasse de Aptidão), é indicado o conjunto de práticas de manejo recomendável sob o ponto de vista de uso adequado das terras.

Materiais e métodos

O estudo foi desenvolvido no Município de Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul. A bacia do Arroio Faxinal está inserida entre as coordenadas UTM 6.777.265 S e 6.784.968 m S, e 491.415 E e 505.929 m E (datum SIRGAS 2000, zona 22S), e ocupa uma área de 66,78 km² (Figura 1). Caxias do Sul localiza-se a uma altitude média de 740 metros. O clima é classificado como clima temperado (Cfb), segundo Köppen e Geiger, apresenta verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas sem estação seca, temperatura média anual de 19,3 °C e a pluviosidade média anual de 1739,3 mm (Embrapa, 2012; Teixeira, A. M.; Bolson, R. T, 2020). O relevo na região é, predominantemente, de um planalto fortemente dissecado, com serras de alta elevação. Na bacia hidrográfica do Faxinal, a altitude varia entre de 692 m e 943 m. A vegetação primária na área estudada é composta de Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucárias) (IBGE, 2012; Penso-campos, J.; Silveira, E.; Périco, E., 2021). O ambiente geológico dominante na bacia é constituído por rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral.

O levantamento dos solos realizado por Flores *et al.* (2007), na escala 1:50.000, identificou na área de estudo 19 (dezenove) unidades de mapeamento de solos (UMs). As UMs que predominam e abrangem aproximadamente 75% da área da bacia são: (1) Associação CAMBISSOLO HÁPLICO Tb e Ta Distrófico e Eutrófico típico, textura média, fase pedregosa, relevo ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura média, fase pedregosa, relevo forte ondulado + ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, textura média/argilosa, fase relevo ondulado todos (2.555,9 ha (38,2%)); (2) Associação ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distófico, relevo ondulado, ambos A proeminente + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico chernossólico, textura média, fase pedregosa (1.459,3 ha (21,8%)); e (3) Associação CAMBISSOLO HÚMICO Tb Alumínico típico fase relevo suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico fase pedregosa relevo ondulado ambos textura argilosa (988,9 ha (14,8%)) (Figura 2).

Figura 1 – Localização da área da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O trabalho preliminar se iniciou pelo levantamento de dados secundários do meio físico, características da área e pela interpretação preliminar de imagens de sensores remotos em meio digital, a partir da base cartográfica, com imagens de alta resolução espacial, e nos dados legados: imagem raster de LiDAR (*Light Detection And Ranging*) com resolução espacial de 5 m; imagem de Satélite GEOEYE com resolução espacial de 0,50 m e mapa de solos (1:50.000). Em seguida, procedeu-se ao levantamento de campo, no qual foram feitos 258 pontos de observação georreferenciados através de caminhamento livre, desenvolvendo um modelo mental da relação solo-paisagem em diferentes posições e formas do relevo, altitudes e fitofisionomia. Ao final desta etapa, foi possível criar uma legenda preliminar. Após o processamento dos dados coletados, sua localização e identificação foram sobrepostas a mapa digital contendo imagens aéreas da bacia no programa Google Earth Pro. Juntaram-se também 403 pontos de observação das áreas de banhados, como indicativo de solos hidromórficos, totalizando 661 pontos de observação na área de estudo. A densidade de observações foi de 1 (uma) observação a cada 10 (dez) hectares ou 0,1 observação/ha.

Os sete locais selecionados para a descrição completa dos perfis modais levaram em conta a posição no relevo, a cor dos solos e a fitofisionomia, seguindo recomendações de Santos, R. *et al.* (2015). Em cada horizonte foram coletadas amostras deformadas para análises físicas e químicas.

As análises químicas e físicas utilizaram as metodologias constantes do Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2017). Para notação de nomenclatura de horizontes e atributos morfológicos principais no campo foram usados critérios estabelecidos em obras de Santos, H. *et al.* (2018) e Santos, R. *et al.* (2015).

A interpretação da análise do solo e o enquadramento em classes seguiram as orientações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC), do Núcleo Regional Sul (NRS) da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Os solos foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos, H. *et al.*, 2018) e no sistema internacional da FAO (2015), o *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) (SHAD, 2023).

Para a confecção do mapa de solos, os dados coletados foram processados por meio de programas gráficos associados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), empregando-se ferramentas de geoprocessamento. Os pontos de observações georreferenciados foram representados sobre imagens orbitais e dados extraídos do modelo digital de elevação (MDE), obtidos pela imagem do LiDAR. Desta forma, utilizou-se o método convencional com delineamento manual das unidades de mapeamento com uso de geotecnologias.

A geração do mapa com auxílio do LandMapR foi feita com os seguintes procedimentos: a partir da imagem raster proveniente do sensor LiDAR, elaborou-se um modelo digital de elevação com curvas de nível de 5 x 5 m e processou-se o referido MDE no programa LandMapR, o qual segmentou a paisagem em 15 formas de relevo (FRs) (imagem raster categorizada). A partir do mapa de formas do relevo fez-se a correlação entre os tipos de solos e as formas de relevo, com base nas observações de campo e no conhecimento tácito, utilizando-se como base cartográfica as imagens históricas do programa Google Earth Pro. A finalização do mapa na escala de 1:20.000 foi feita após eliminarem-se os polígonos menores que a área mínima mapeável de 0,4 cm² no mapa e 1,6 hectares no campo. Todo o processo de geração do mapa de solos foi realizado nos programas ArcGis 10.4 e QGIS 3.16.

A concordância dos mapas produzidos foi avaliada com o uso de uma matriz de erro (Congalton, 1991; Yang *et al.*, 2024), e a referência foi o mapa convencional da bacia. Foi calculada a concordância pixel a pixel, considerando a acurácia geral (AG), acurácia do mapeador (AM) e acurácia do usuário (AU).

A partir dos dados obtidos no levantamento de solos da Bacia do Faxinal, foi desenvolvido o sistema de avaliação das terras a fim de interpretar os dados de solos. Foi elaborado um quadro-guia para a classificação da aptidão agrícola das terras e recomendação de práticas de manejo e conservação do solo (Schneider; Giasson; Klamt, 2007).

As indicações de uso e das práticas de manejo constantes do quadro-guia basearam-se na revisão de trabalhos realizados na Bacia do Faxinal e no Município de Caxias do Sul, bem como na observação direta no local.

As características do solo e do meio ambiente selecionadas para distinguir as classes de aptidão foram organizadas no quadro-guia em Classes de Aptidão, o qual indica o uso agrícola da terra mais intenso possível e Subclasses de Aptidão, que apontam o conjunto de práticas de manejo recomendável sob o ponto de vista de uso adequado das terras.

Neste trabalho adotou-se o seguinte conjunto de letras e respectivos significados: C – terras aptas para culturas anuais; F – terras aptas para fruticultura; P – terras aptas para pastagem; S – terras aptas para silvicultura. Desta forma, foi gerado mapa de aptidão agrícola das terras para usos com culturas anuais, fruticultura, pastagens e silvicultura.

Resultados e discussões

Mapa convencional de solos

As principais camadas de dados e informações utilizadas para a delimitação das UMs foram pela observação da declividade (Figura 3) associada às formas do relevo (Figura 4) e uso atual do solo (Figura 5). A bacia apresenta em sua maioria áreas com declividade (%) de 20-45 e acima de 45 (47,4 e 31,8% da área, respectivamente). As áreas com declive de 3-8 ocupam 17,7% da área e as áreas com declividade de 0-3 e 8-20 em conjunto ocupam apenas 3% da área.

O mapa convencional foi delineado sobre uma base cartográfica constituída de imagens orbitais GEOEYE de alta resolução espacial, utilizando-se como dados complementares dados extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE), tais como declividade, altitude e relevo sombreado.

Os solos da Bacia do Arroio Faxinal foram agrupados em quatro UMs, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos, H. et al., 2018), constituindo-se de

unidades de mapeamento simples, associações e complexos de solos. A Figura 6 mostra o mapa convencional de solos e a Tabela 1 apresenta as UMs.

Tabela 1 – Unidades de mapeamento de solos na Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal elaboradas pelo método convencional

UM	Tipo de UMs	Solos	Inclusões	Área	
				%	ha
CXba	simples	CXba	Gleissolos	23,7	1.521
CXba1	associação	CXba, RLdl	Neossolos Regolíticos	20,0	1.287
GMbd	simples	GMbdl	-	0,6	40
RLdl	complexo	RLdl, RRdv	Afloramentos de Rocha, Cambissolos	55,6	3.578
Total				100,0	6.426

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O mapa de solos elaborado pelo método convencional apresenta predomínio da UM RLdv com 55,6%. E a UM com menor recobrimento na bacia é a GMbd, com 0,6% da área. Este resultado reitera a ocorrência das classes taxonômicas descritas no levantamento dos solos da bacia realizado por Flores *et al.* (2007), em nível semidetalhado na escala 1:50.000, até o segundo nível categórico, CAMBISSOLOS HÁPLICOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS. Contudo, descartou-se a ocorrência dos ARGISSOLOS ACINZENTADOS, CAMBISSOLOS HÚMICOS e NITOSSOLOS BRUNOS. Além disso, este levantamento de solos em nível detalhado na escala 1:20.000 evidenciou a presença dos solos NEOSSOLOS REGULÍTICOS e GLEISSOLOS MELÂNICOS, devido à intensidade da amostragem e escala de trabalho utilizada.

Mapa de solos elaborado com auxílio do LandMapR

No mapeamento elaborado com auxílio do LandMapR, estabeleceu-se uma relação entre as formas do relevo e a ocorrência dos solos no campo, utilizando-se a identificação dos solos no campo.

As formas do relevo geradas pelo LandMapR para a bacia foram Ombro divergente (Divergent shoulder – DSH) em 22,37% da área, Encosta Divergente (Divergent back slope – DBS) (22,31%), Encosta Convergente (Convergent back slope – CBS) (18,43%) e Parte Superior do Sopé (Foot Slope – FSL) (16,99%). As formas do relevo menos frequentes na bacia são a Crista em Nível (Level Crest – LCR), o Terraço (Terrace – TER), a Forma de Sela (Saddle – SAD) e a Depressão Inferior (Lower depression – DEP), que juntas perfazem menos de 1% da área total da bacia.

Foi realizado um delineamento semiautomático das UMs reclassificando cada forma do relevo conforme a unidade de mapeamento ocorrente na mesma. A Tabela 2 mostra a associação de cada forma do relevo com as UMs.

Tabela 2 – Demonstrativo de agrupamento das formas de relevo em unidades de mapeamento de solos.

Formas de relevo	Sigla	UM	Área (ha)	%
Crista em nível	LCR	RLdl	7	0,10
Ombro divergente	DSH	RLdl	1.495	22,37
Depressão elevada	UDE	RLdl	156	2,34
Encosta	BSL	CXba1	416	6,23
Encosta divergente	DBS	CXba1	1.492	22,31

Encosta convergente	CBS	CXba1	1.136	16,99
Terraço	TER	CXba1	69	1,03
Forma de sela	SAD	CXba1	8	0,11
Depressão em meia encosta	DME	CXba1	8	0,13
Parte superior do sopé	FSL	CXba	1.232	18,43
Parte superior do sopé	FSL	CXba	1.232	18,43
Parte inferior do sopé	TSL	CXba	191	2,85
Leque aluvial	FAN	CXba	77	1,15
Coxilha inferior	LSM	CXba	70	1,05
Declive inferior	LLS	CXba	25	0,37
Depressão inferior	DEP	CXba	13	0,19

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A Tabela 3 lista as UMs do mapa elaborado com auxílio do LandMapR e a Figura 7 apresenta o mapa de solos obtido.

Tabela 3 – Unidades de mapeamento na bacia do Faxinal elaboradas pelo método convencional com auxílio do LandMapR

UM	Tipo de UMs	Solos	Inclusões	Área	
				%	ha
CXba	simples	CXba	Gleissolos	24,8	1.594
CXba1	associação	CXba, RLdl	Neossolos Regolíticos	53,8	3.454
GMbd	simples	GMbdl	-	0,6	40
RLdl	complexo	RLdl, RRdv	Afloramentos de Rocha, Cambissolos	20,8	1.338
Total				100,0	6.426

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O mapa de solos elaborado com auxílio do LandMapR apresenta predomínio da UM CXba1, com 53,8% da área. A UM com menor recobrimento na bacia é a GMbd, totalizando 0,6% da área.

Comparativamente, nos dois mapas de solos elaborados neste trabalho, sob a mesma base cartográfica, pontos de observação e intensidades de amostragem, obteve-se as mesmas classes taxonômicas e unidades de mapeamento. No entanto, houve nítida divergência na distribuição das UMs sobre a área da bacia. Enquanto no mapa convencional predomina o complexo dos NEOSSOLOS LITÓLICOS E NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, induzido provavelmente pelo relevo muito movimentado, cuja declividade acima de 20% ocupa uma área superior a 80% da bacia, no elaborado com auxílio do LandMapR os CAMBISSOLOS HÁPLICOS, em associação e unidade simples, dominam a área da bacia.

Avaliação dos mapas de solos

Foi realizada uma avaliação da concordância entre os dois mapas produzidos utilizando-se uma matriz de erro (Tabela 4), que quantificou a acurácia geral dos mapas usando o mapa convencional como referência. A concordância entre os dois mapas foi de 32%. O Índice Kappa, que considera todas as UMs classificadas corretamente desconsiderando a casualidade

foi de 17%, indicando uma baixa concordância entre os mapas, de acordo com o critério de Landis e Koch (1977). A baixa concordância entre os mapas possivelmente ocorreu devido a uma maior capacidade de detalhamento do delineamento das UMs quando usado o LandMapR.

Tabela 4 – Matriz de erros comparando o mapa de solos da Bacia do Arroio Faxinal elaborado pelo método convencional com o mapa elaborado com auxílio do LandMapR

		Mapa Convencional					Total	AU (%)
		UM	CXba	CXba1	GMbd	RLdl		
Mapa LandMapr	CXba	500	794	0	228	1.522	33	
	CXba1	352	688	0	246	1.286	53	
	GMbd	0	0	40	0	40	100	
	RLdl	740	1.971	0	865	3.576	24	
	Total	1.592	3.453	40	1.339	6.424		
	AM (%)	31	20	100	65			

Acurácia Geral = 32%; Índice Kappa = 17%.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Analisando a matriz de erros, constata-se que a unidade de mapeamento com maior AM foi a unidade GMbd com 100%. Isso ocorreu pelo uso dos mesmos polígonos em ambos os mapas, demonstrando a fidedignidade do algoritmo. A segunda maior AM foi obtida para a UMs RLdv, com AM de 65%, provavelmente por ser a unidade que ocorre em maior extensão (2.540 ha). A UM com a menor AM foi a UM CXba1 (20%).

Observou-se que a UM com maior AU foi a GMbd (100%). A UM CXba1 apresentou AU de 53 %, mostrando que essa UM teve médio índice de pontos classificados corretamente no mapa convencional com LandMapR. A menor AU foi encontrada na unidade RLdv, com 24%, mostrando baixa correlação entre o mapa elaborado com o auxílio do LandMapR e o mapa convencional, adotado como referência (Tabela 4).

Avaliação da aptidão agrícola das terras

Elaborou-se um sistema com base nas características limitantes combinadas entre si e para cada uma dessas combinações foi definido o melhor tipo de uso e as práticas de manejo e conservação necessárias, com vistas à manutenção da qualidade e produtividade das terras. Como resultado obteve-se um quadro-guia para a classificação das glebas homogêneas.

As glebas homogêneas são obtidas pela reclassificação das unidades de mapeamento do levantamento de solos da área de estudo.

As características limitantes ao uso agrícola das terras nesta bacia hidrográfica são: declividade, profundidade do solo e drenagem do solo. Cada uma dessas limitações foi estratificada em diferentes classes, conforme as Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Classes de declive das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal.

Classes de declive		Características	Área (%)
d1	0-8%	Áreas planas a suave onduladas, não impedem ou dificultam a mecanização agrícola, mas que necessitam de práticas simples de conservação.	20,7

d2	8-45%	Áreas inclinadas, mas não impedem a mecanização agrícola e necessitam de práticas intensivas e complexas de controle da erosão.	47,5
d3	>45%	Áreas muito inclinadas, que impedem o uso de máquinas agrícolas e com riscos severos de erosão.	31,8

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Observando-se a viabilidade e rendimento das práticas de mecanização agrícola e as condições que possam ocasionar o processo erosivo dos solos, as terras da bacia foram segmentadas em três classes de declividade e destacam-se por sua ocorrência as classes “d2” e “d3” com 79,3% da área da bacia, representadas pelas UMs CXba1 e RLdl. A classe “d1” totalizou 20,7% da área da bacia e ocorre nas UMs CXba e GMbd.

Tabela 6 – Classes de drenagem das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal

Classes de drenagem		Características	Área (%)
h1	Bem drenado	Ausência de lençol freático no perfil e não apresenta mosqueados.	97,9
h2	Mal drenado	Presença de lençol freático no perfil, podendo estar completamente saturado por longo período na estação chuvosa, gleização em todo o perfil.	2,1

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Quanto à profundidade do lençol freático e pela observação da cor dos horizontes dos solos, nota-se que há um predomínio de terras bem drenadas (h1), com 97,9% da área da bacia, que ocorrem nas UMs CXba, CXba1 e RLdl. As terras mal drenadas (h2) abrangem apenas 2,1% da área da bacia e ocorre na UM GMbd.

Tabela 7 – Classes de profundidade das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal

Classes de profundidade		Características	Área (%)
p1	>50cm	Pouco profundo	78,5
p2	<50cm	Raso	21,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Considerando-se a espessura máxima do solo onde as raízes das plantas podem se desenvolver livremente, bem como a viabilidade às práticas de preparo do solo, foram consideradas apenas duas classes de profundidade de solos com predomínio dos solos poucos profundos (p1) com 78,5% da área e representados pelas UMs CXba e CXba1. Os solos rasos (p2) ocorrem em 21,5% da área da bacia e representados nas UMs RLdl e GMbd.

Após elaborar as combinações possíveis de todas as classes das características limitantes e com base em informações de pesquisa e de extensão na região, foram definidos os tipos de uso e as práticas de manejo recomendadas (Quadro 1).

Quadro 1 – Quadro-guia das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal e indicação das práticas conservacionistas correspondentes às subclasses de aptidão agrícola das terras

	Drenagem		
	h1: Bem drenado		h2: Mal drenado
	Profundidade efetiva		
Declividade	p1: >50 cm	p2: <50 cm	p2: <50 cm
d1: <8%	C1	-----	C2 e/ou P2
d2: 8-45%	F e/ou S e/ou P1	-----	-----
d3: >45%	-----	P1	-----
Classes de Aptidão Terras aptas para:	Subclasses de Aptidão		
C: Culturas anuais de inverno ou de verão / Olericultura	C1: Preparo mínimo; cordões de contorno; terraceamento integrado ao cultivo e às estradas; plantio em nível; rotação de culturas; utilização de plantas recuperadoras de solo; manutenção do solo permanentemente coberto.		
C: Culturas anuais de inverno ou de verão / Olericultura	C2: Drenagem; uso com espécies adaptadas.		
F: Fruticultura	F: Cordões de contorno; cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas da cultura principal; utilização de plantas recuperadoras de solo; manutenção do solo permanentemente coberto.		
S: Silvicultura	S: Talhões em contorno; manutenção do solo permanentemente coberto; cortes alternados em faixas e em nível.		
P: Pastagem	P1: Cordões de contorno.		
P: Pastagem	P2: Uso com espécies adaptadas.		

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

As áreas da bacia classificadas com aptidão para culturas anuais (C1) são as que apresentam menos restrições ao uso e são aptas para fruticultura, silvicultura ou pastagem, e ocorrem em áreas de relevo suave ondulado com solos bem drenados e pouco profundos. Enquanto as áreas da bacia classificadas com aptidão para fruticultura (F) são as que apresentam restrições intermediárias ao uso e são aptas para silvicultura (S) ou pastagem (P1), e ocorrem em áreas de relevo que variam de ondulado a forte ondulado com solos bem drenados e pouco profundos a rasos. Ainda, há as áreas da bacia classificadas com aptidão para pastagem (P1); são as que apresentam maiores restrições ao uso e ocorrem em áreas de relevo que variam de montanhoso a escarpado com solos bem drenados e rasos. Por fim, há as áreas da bacia classificadas com aptidão para culturas anuais e/ou pastagem (C2 e/ou P2), que ocorrem em áreas de relevo plano com solos mal drenados e rasos, ou seja, um ambiente de exceção que necessita de manejo e cuidados especiais.

A Tabela 8 mostra o quantitativo das classes e subclasses de aptidão agrícola das terras da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal, e a Figura 8, a sua distribuição espacial.

Tabela 8 – Classes e subclasses de aptidão da Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal.

Classes e subclasses de aptidão	Área	
	Hectares	%
C1	1.594	24,8
F e/ou S e/ou P1	3.454	53,8
P1	1.338	20,8
C2 e/ou P2	40	0,6
TOTAL	6.426	100,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

De acordo com os dados do levantamento detalhado dos solos, do qual evidenciaram-se as características limitantes dos solos associadas às características ambientais, a Bacia Hidrográfica do Arroio Faxinal apresenta 53,8% de terras aptas para fruticultura e/ou silvicultura e/ou pastagem, 24,8% de terras aptas para culturas anuais/olericultura, 20,8% de terras aptas para pastagens e 0,6% de terras aptas para culturas anuais/olericultura e/ou pastagem.

Considerações finais

Os solos da bacia pertencem às classes taxonômicas CAMBISSOLOS HÁPLICOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS e GLEISSOLOS MELÂNICOS.

As unidades de mapeamento constatadas nesta escala detalhada de 1:20.000 são: (1) CXba: unidade simples de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Alumínico típico, textura muito argilosa, relevo plano a ondulado; (2) CXba1: associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Alumínico típico, textura muito argilosa, relevo forte ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, textura argila, relevo forte ondulado; (3) RLdl: complexo de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, textura argila, A moderado, relevo montanhoso a escarpado (RLdl) e NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, textura argila/franco-argiloarenosa, relevo montanhoso a escarpado (RRdv); (4) GMbd: unidade simples de GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico léptico, textura franco argilosa, relevo plano (GMbdl).

O mapeamento convencional com auxílio do LandMapR demonstrou ser promissor no delineamento semiautomático das unidades de mapeamento em bacias hidrográficas com relevo movimentado e na escala detalhada de trabalho, por revelar detalhes da relação solo-paisagem que o mapeamento convencional não consegue distinguir.

O levantamento detalhado dos solos forneceu informações suficientes para selecionar as características limitantes ao uso e aliado às características ambientais mostrou-se adequado para montar um quadro-guia para a indicação da aptidão agrícola das terras da Bacia do Arroio Faxinal.

A avaliação da aptidão agrícola das terras da Bacia do Arroio Faxinal indica que 53,8% são aptas para fruticultura e/ou silvicultura e/ou pastagem, 24,8% aptas para culturas anuais/olericultura, 20,8% aptas para pastagens e 0,6% aptas para culturas anuais/olericultura e/ou pastagem.

Referências

ALMEIDA, K. N. S. de *et al.* APTIDÃO AGRÍCOLA DOS SOLOS DO ESTADO DO PIAUÍ. *Nativa*, Sinop, v. 7, n. 3, p. 233–238, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7119>. Acesso em: 23 jun. 2024.

BONFATTI, B. *et al.* Digital mapping of soil parent material in a heterogeneous tropical area. **Geomorphology**, Vol. 367 (15), 2020.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, Volume 37, Issue 1, p. 35-46, 1991.

COSTANTINI, E. A. C.; PRIORI, S. Soil quality and health key indicators . *In*: Michael J. GOSS, M. J.; OLIVER, M. (ed.). **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Academic Press, 2023. p. 181-192.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. . 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2017.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143521/1/Atlas-climatico-da-regiao-Sul-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World reference base for soil resources 2014**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, update 2005. Rome: FAO, 2015. (World Soil Resources Reports, n. 106). Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

FLORES, C. A. *et al.* Levantamento semidetalhado dos solos na Serra do Sudeste, RS como subsídio ao zoneamento vitivinícola: folha Pinheiro Machado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS: SBCS, 2007.

HESSELN, N. E. **Levantamento de solos e avaliação da aptidão de uso das terras do Assentamento Capela (Nova Santa Rita/RS)**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. (Manuais técnicos de geociências, n. 1).

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. An application of hierarchical Kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, [Washington, DC], v. 33, n. 2, p. 363–374, 1977.

LEPSCH, I. F. *et al.* **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

NEUBERT, E. O. **Levantamento de solos e avaliação da aptidão agrícola da microbacia do Rio Armazém (Urussanga/SC)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

PENSO-CAMPOS, J.; SILVEIRA, E.; PÉRICO, E. O Barômetro da Sustentabilidade em uma Perspectiva Espaço-Temporal: uma Análise por Biomas, RS, Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**. Vol.10 (2), p. 133-152, 2021.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SCHAD, P. World Reference Base for Soil Resources—Its fourth edition and its history. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Vol.186 (2), p.151–163, 2023.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras: um sistema alternativo**. Guaíba: Agrolivros, 2007.

STRECK, E. V. **Levantamento de solos e avaliação do potencial de uso agrícola das terras da microbacia do Lajeado Atafona (Santo Ângelo/RS)**. 1992. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

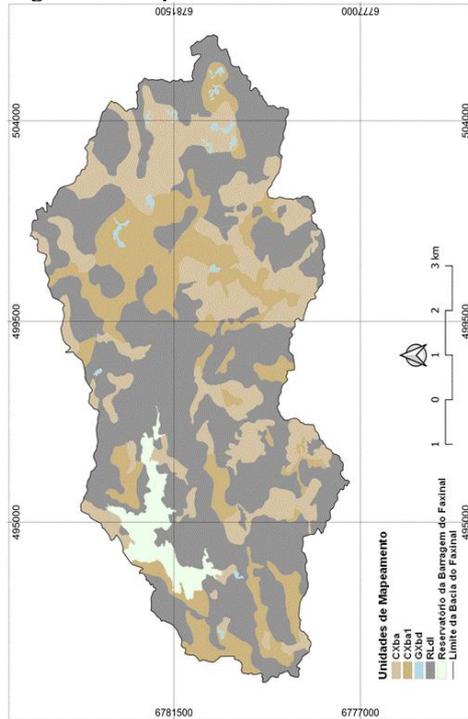
TEIXEIRA, A. M.; BOLSON, R. T. IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL. **Revista CIATEC-UPF**, Vol.12(1), p. 1-20, 2020.

YANG, T. *et al.* Diagnosis of the accuracy of land cover classification using bootstrap resampling. **International Journal of Remote Sensing**, 45(12), p. 3897–3912, 2024.

Agradecimentos

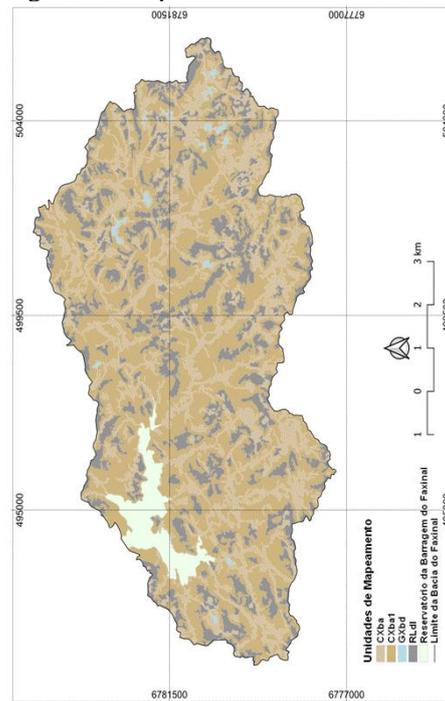
Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pela concessão da licença capacitação para a realização do mestrado e ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAEE) pela parceria.

Figura 6 – Mapa de solo convencional



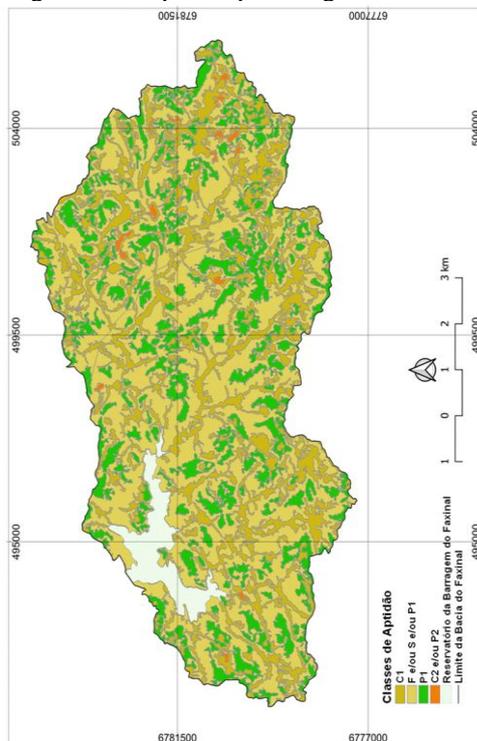
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 7 – Mapa de solo com auxílio do LandMapR



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 8 – Mapa de aptidão agrícola das terras



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)