



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

CAMPUS CERRO LARGO

CURSO DE AGRONOMIA

MAICON JUNIOR RAUBER

**ESTIMATIVA DA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA OS SOLOS
DO RIO GRANDE DO SUL**

CERRO LARGO

2019

MAICON JUNIOR RAUBER

**ESTIMATIVA DA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA OS SOLOS
DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de
Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul,
como requisito parcial para obtenção do título bacharel
em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Rauber, Maicon Junior

Estimativa da retenção e disponibilidade de água para os solos do Rio Grande do Sul / Maicon Junior Rauber. -- 2019.

56 f.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Agronomia, Cerro Largo, RS , 2019.

1. Retenção de água. 2. Disponibilidade de água. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

MAICON JUNIOR RAUBER

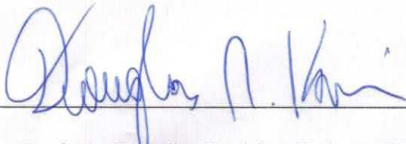
**ESTIMATIVA DA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA OS SOLOS
DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, com requisito parcial para obtenção do título bacharel em Agronomia.

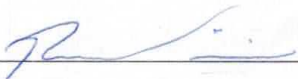
Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 03/12/2019

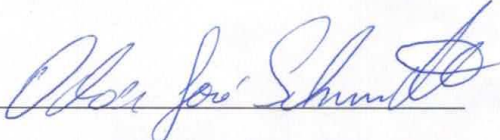
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS



Dr. Odair José Schmitt - UFFS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Margarida, por todo o apoio e incentivo durante todo o período acadêmico. Ao professor Douglas Rodrigo Kaiser, pelos ensinamentos, apoio, orientação e amizade ao decorrer da graduação e em especial durante a condução deste trabalho. Aos meus amigos e colegas de graduação, que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho e que me sempre me apoiaram e incentivaram. A Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, por me proporcionar a oportunidade de conseguir a tão sonhada graduação em Agronomia. Ainda, a todos os professores e técnicos que durante a graduação repassaram parte de seus conhecimentos e em especial a aqueles que de uma forma outra colaboraram neste trabalho.

RESUMO

A capacidade de armazenamento e disponibilidade de água no solo tem influência direta em um bom crescimento e desenvolvimento das plantas. Porém, o manejo inadequado dos solos pode afetar negativamente essa capacidade. A compactação do solo e a alta concentração de alumínio tóxico no solo dificultam o crescimento radicular das plantas, dessa forma, limitando o crescimento radicular, tendo menor quantidade de água disponível. A quantidade de água armazenada e disponível no solo pode ser estimada através de modelos matemáticos, as funções de pedotransferência. Sob esse contexto, buscou-se nesse trabalho, estimar a disponibilidade e retenção de água para os solos do estado do Rio Grande do Sul através de funções de pedotransferência já existentes. As pedofunções utilizadas são oriundas da literatura, do artigo intitulado Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. Para o cálculo da capacidade de campo foi utilizada a pedofunção $CC\ 10kPa = 0,506 \times \text{argila}^{0,31}$ ($R^2 = 0,92$) e para o cálculo do ponto de murcha permanente foi utilizada a pedofunção $PMP\ 1500kPa = 0,39 \times \text{argila}^{0,51}$ ($R^2 = 0,85$). A capacidade de campo foi padronizada em 10 kPa e o ponto de murcha em 1500 kPa. Através desses dados foi calculado a capacidade de armazenamento total de água no solo e a disponibilidade de água no solo para diferentes profundidades efetivas do solo. Os dados sobre as características dos solos são oriundos do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Os solos com textura mais argilosa tendem a ter maior capacidade de armazenamento de água. A capacidade de armazenamento de água no solo foi maior nos solos mais profundos, assim como a quantidade de água disponível às plantas. Os solos com profundidade inferior à 25cm não são recomendados para o cultivo de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). Oferecer condições para que o crescimento radicular efetivo das plantas ultrapasse os 60 cm aumenta consideravelmente os dias em que a planta não sofrerá com déficit hídrico intenso.

Palavras chave: Armazenamento de água. Profundidade efetiva do solo. Funções de pedotransferência. Crescimento radicular.

ABSTRACT

Soil storage capacity and water availability have a direct influence on good plant growth and development. The compaction of the soil and the high concentration of toxic aluminum in the soil make it difficult for the plants to grow, limiting root growth, with less water available. The amount of water stored and available in the soil can be estimated through mathematical models, pedotransfer functions. In this context, this work aimed to estimate the availability and retention of water for the soils of the state of Rio Grande do Sul through existing pedotransfer functions. The pedofunctions used come from the literature, from an article entitled Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. To calculate the field capacity, the pedofunction $CC_{10kPa} = 0.506 \times \text{clay}^{0.31}$ ($R^2 = 0.92$) and for the calculation of the permanent wilting point, the pedofunction $PWP_{1500kPa} = 0.39 \times \text{clay}^{0.51}$ ($R^2 = 0.85$) was used. Field capacity was standardized at 10 kPa and wilting point at 1500 kPa. Based on these data, total soil water storage capacity and soil water availability at different effective soil depths were calculated. Data on soil characteristics come from the Rio Grande do Sul State Soil Recognition Survey. Soils with clay texture tend to have higher water storage capacity. Soil water storage capacity was higher in deeper soils, as was the amount of water available to plants. Soils with depth less than 25cm are not recommended for soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*) cultivation. Providing good conditions for the effective root growth of plants to exceed 60 cm greatly increases the days when the plant will not suffer from severe water deficit.

Keywords: Water storage. Effective soil depth. Pedotransfer functions. Root growth.

ISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o teor de argila no solo e o teor de água na capacidade de campo (FC = 10 kPa), no ponto de murcha permanente (PWP = 1500 kPa) e a água disponível à planta (AW = diferença entre o conteúdo de água a 10 e a 1500 kPa) para os solos do RS.	24
Figura 2 - Relação da disponibilidade de água para as profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm para a profundidade efetiva muito rasa.....	41
Figura 3 - Relação da disponibilidade de água para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm e 0-50 cm para a profundidade efetiva rasa.	44
Figura 4 - Relação da disponibilidade de água em Latossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	53
Figura 5 - - Relação da disponibilidade de água em Planossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	54
Figura 6 - Relação da disponibilidade de água em Cambissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	54
Figura 7 - Relação da disponibilidade de água em Gleissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	55
Figura 8 - Relação da disponibilidade de água em Chernossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	55
Figura 9 - Relação da disponibilidade de água em Luvisolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	56
Figura 10 - Relação da disponibilidade de água em Vertissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....	56

Figura 11 - Relação da disponibilidade de água em Neossolos Quartzarênicos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.57

Figura 12 - Relação da disponibilidade de água em Argissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.....57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de profundidade efetiva do solo.	16
Tabela 2 - Frações granulométricas definidas pelos sistemas de Classificação Norte Americano (USDA), Internacional (ISSS) e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).....	17
Tabela 3 - Profundidade efetiva do solo a ser estudado.	25
Tabela 4 - Profundidades do solo para o cálculo da disponibilidade de água.	26
Tabela 5 - Unidades de mapeamento classificadas como Latossolos PARTE 1.....	27
Tabela 6 - Unidades de mapeamento classificadas como Latossolos PARTE 2.....	28
Tabela 7 - Unidades de mapeamento classificadas como Planossolos.....	28
Tabela 8 - Unidades de mapeamento classificadas como Cambissolos.	29
Tabela 9 - Unidade de mapeamento classificada como Plintossolos.	29
Tabela 10 - Unidades de mapeamento classificadas como Gleissolos.	30
Tabela 11 - Unidade de mapeamento classificada como Nitossolos.....	30
Tabela 12 - Unidades de mapeamento classificadas como Chernossolos.	31
Tabela 13 - Unidades de mapeamento classificadas como Luvissolos.	32
Tabela 14 - Unidades de mapeamento classificadas como Vertissolos.....	33
Tabela 15 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Regolítico.	33
Tabela 16 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Litólico.	34
Tabela 17 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Quartzarênico.	34
Tabela 18 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 1.....	35
Tabela 19 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 2.....	36
Tabela 20 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 3.....	37
Tabela 21 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 4.....	38
Tabela 22 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para os solos com profundidade efetiva muito rasa.	39
Tabela 23 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura de milho (Zea mays) e soja (Glycine max) para as unidades de mapeamento classificadas como profundidade efetiva muito rasa.	40
Tabela 24 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva rasa.	42

Tabela 25 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (Zea mays) e da soja (Glycine max) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva rasa.....	43
Tabela 26 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 1).	46
Tabela 27 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade moderadamente profunda (Parte 2).....	47
Tabela 28 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 3).	48
Tabela 29 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (Zea mays) e da soja (Glycine max) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 1).	50
Tabela 30 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (Zea mays) e da soja (Glycine max) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 2).	51
Tabela 31 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (Zea mays) e da soja (Glycine max) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 3).	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL	14
2.2 PROFUNDIDADE EFETIVA E PROFUNDIDADE DO SOLO	15
2.3 ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO	16
2.3.1 TEXTURA DO SOLO	16
2.3.2 ESTRUTURA DO SOLO	18
2.4 RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO	19
2.5 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	20
2.6 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA.....	21
2.7 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO – ZARC CONSIDERANDO OS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA MUITO RASA.....	39
4.2 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA RASA	42
4.3 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA MODERADAMENTE PROFUNDA	46
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no solo tem influência direta em um bom crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, o conhecimento das características físico-hídricas do solo é importante, pois elas influenciam diretamente o armazenamento de água no solo e sua disponibilidade às plantas (MICHELON et al., 2010).

A quantidade de água armazenada no solo é importante para estudos de irrigação, infiltração, drenagem, entre outros. Além disso, a umidade no solo é determinante nos processos de troca entre o solo e a atmosfera (ROSSATO, 2002). Propriedades físicas como a textura, distribuição e diâmetro médio de poros e estrutura do solo estão diretamente ligadas à variação na quantidade de água armazenada no solo (PETRY, 2000). Dentre esses fatores relacionados com a retenção de água no solo, segundo Sheinost et al. (1997 apud MICHELON, 2010), o principal é a textura do solo, pois ela determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros.

Diversos métodos e técnicas foram desenvolvidos para determinar a água no solo, porém, esses métodos diretos ou indiretos demandam de tempo e trabalho, sendo que os diretos se tornam quase inviáveis para extensas áreas. A fim de facilitar a obtenção do conteúdo de água no solo, inúmeros pesquisadores propuseram modelos matemáticos que permitem estimar a retenção de água, através de parâmetros físicos do solo que são facilmente obtidos em certas análises de rotina ou levantamentos de solos. Esses modelos matemáticos são conhecidos como funções de pedotransferência (FPTs) ou pedofunções, e permitem a estimativa da retenção de água no solo e propriedades hidráulicas a partir de propriedades físicas que afetam diretamente a retenção e disponibilidade de água no solo (ROSSATO, 2002).

As características como a disponibilidade de água, capacidade de retenção de água do solo e a capacidade de armazenamento de água, têm grande relevância em planejamentos agrícolas, desde a escolha do solo, culturas mais adequadas a determinada característica do solo, como também em planejamento de irrigação.

O presente trabalho tem por objetivo estimar a retenção e disponibilidade de água para os solos do Rio Grande do Sul através de funções de pedotransferência já existentes, tendo como base das características e atributos dos solos obtidas no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973).

1.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a retenção e disponibilidade de água para os solos do Rio Grande do Sul.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar a retenção e disponibilidade de água para diferentes profundidades efetivas dos solos do Rio Grande do Sul.
2. Estimar o armazenamento de água para diferentes profundidades efetivas dos solos do Rio Grande do Sul.
3. Estimar o suprimento de água no solo para as culturas do milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) nas diferentes classes de solos do Rio Grande do Sul.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL

O solo é um recurso natural lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem. Sua origem é resultante de processos físicos como a alteração de rochas e sedimentos, pela ação da chuva, temperatura e de organismos vivos, que variam de acordo com a paisagem e o tempo. No Rio Grande do Sul, a combinação da diversidade geológica, climática e de relevo originou uma grande variedade de tipos de solos que contribuíram para os diferentes padrões de ocupação das terras, do seu uso agrícola e do desenvolvimento regional (STRECK et al., 2018)

No estado do Rio Grande do Sul temos a ocorrência significativa de doze classes de solos, tomando-se como referência os perfis descritos no levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul no ano de 1973 (BRASIL, 1973). Algumas classes de solos, como os Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos e Chernossolos se destacam pela grande área que ocupam no estado, mas temos ainda a ocorrência em menor escala de Gleissolos, Luvisolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos. Essas classes de solos mostram uma grande heterogeneidade em características como a espessura do horizonte A estrutura, cor, além de características distintas de textura, teor de matéria orgânica, CTC entre outras.

Dentre essas características, algumas tem forte relação com a retenção e disponibilidade de água, dessa forma o comportamento da água em cada perfil será diferente. Riquelme (2004), cita que a textura do solo é o principal fator que afeta a retenção de água no solo, devido ela determinar a área de contato entre as partículas do solo e a água e assim acomodando as partículas e os poros do solo. Portanto as classes de solo com textura mais argilosa tendem a ter uma maior quantidade de água retida. Ainda, essas classes, em geral, são compostas por solos profundos a muito profundos, o que também contribui para uma maior quantidade de água armazenada. Em solos com textura franco arenosa a retenção de água é menor, mas a disponibilidade de água para as plantas é maior (PETRY, 2000).

Além da textura, a estrutura do solo tem grande influência na retenção e disponibilidade de água. Isso se deve ao fato do solo possuir ou não um bom espaço poroso e a presença de uma rede ideal de poros, de diferentes diâmetros e formas. Essa característica é facilmente

modificada pelo manejo do solo, podendo sofrer alterações positivas ou negativas para a retenção e disponibilidade de água.

Outro fator muito importante é a matéria orgânica, pois ela apresenta elevada capacidade de retenção de água, podendo reter de 4 a 6 vezes seu próprio peso em água. Além disso, a matéria orgânica é importante na formação e estabilização dos agregados do solo, o que melhora a sua estruturação e a retenção de água (MELLO, et al., 1978). Assim sendo, solos com maiores teores de matéria orgânica apresentam maior capacidade de reter água. Em geral, solos de mata tendem a ter teores maiores de matéria orgânica no perfil, mas em unidades agrícolas com a implantação do sistema plantio direto consolidado, aliado ao uso de práticas conservacionistas complementares, os perfis de solo tendem a apresentar teores médios a altos de matéria orgânica.

Cabe também ressaltar a profundidade do solo, onde, geralmente, em solos mais intemperizados ela é maior. Dessa forma, apresenta melhores condições para o crescimento radicular das plantas, aumentando a profundidade efetiva, o que contribui para um incremento no armazenamento de água.

2.2 PROFUNDIDADE EFETIVA E PROFUNDIDADE DO SOLO

Em estudos sobre solos consideram-se dois tipos de profundidades, a profundidade do solo e a profundidade efetiva. A profundidade efetiva refere-se à profundidade máxima que as raízes penetram livremente no solo, em razoável número e sem impedimentos físicos e químicos, proporcionando às plantas suporte físico, condições para absorção de água e nutrientes e ao desenvolvimento do sistema radicular (LEPSCH et al., 2015). A profundidade efetiva é um dos fatores levados em consideração para determinação da aptidão agrícola dos solos (Tabela 1).

Tabela 1 - Classes de profundidade efetiva do solo.

Categoria	Profundidade (cm)
Muito rasa	< 25
Rasa	25 a 50
Moderadamente profunda	50 a 100
Profunda	100 a 200
Muito profunda	> 200

Fonte: PEREIRA; GOMES, 2017.

A profundidade do solo é mais abrangente, pois o seu limite inferior é definido pelos limites das ações de forças climáticas e biológicas. O termo profundidade do solo, portanto, relaciona-se mais intimamente com os processos pedogenéticos, sendo comumente usados em levantamento e mapeamento de solos (PEREIRA; GOMES, 2017). Segundo a Embrapa (2013), a profundidade do solo é distribuída em quatro classes: raso menos de 50 cm; pouco profundo tem 50 a 100 cm; profundo 100 a 200 cm; muito profundo mais de 200 cm.

A profundidade do solo e a profundidade efetiva são atributos muito importantes tanto no contexto agrônomo quanto ambiental. A profundidade efetiva tem influência direta na capacidade de armazenamento de água, estoque de nutrientes, desenvolvimento do sistema radicular das plantas, além de riscos de erosão (STRECK, 2018). O armazenamento de água de um solo é influenciado pela capacidade de retenção de água e pela profundidade efetiva do solo. Dessa forma, solos mais profundos apresentam uma maior capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas.

2.3 ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

2.3.1 TEXTURA DO SOLO

A textura do solo se refere ao tamanho das partículas do solo e como elas estão distribuídas. É uma característica do solo que representa as proporções relativas das frações areia, silte e argila do solo, a qual não pode ser alterada, pois é inerente ao solo (KLEIN, 2012). A textura, juntamente com outras características do solo, sobretudo a composição mineralógica e o teor de matéria orgânica, estão intimamente relacionados a estrutura, consistência,

permeabilidade, capacidade de troca de cátions, retenção de água e fixação de fosfatos (MICHELON, 2010).

As frações areia, silte e argila apresentam tamanhos variáveis em função do sistema de classificação adotado. A tabela 2 apresenta a classificação segundo as frações granulométricas e amplitudes de tamanho.

Tabela 2 - Frações granulométricas definidas pelos sistemas de Classificação Norte Americano (USDA), Internacional (ISSS) e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Frações	Sistemas		
	USDA	ISSS	SBCS
		Ø (mm)	
Areia muito grossa	2 – 1	-	-
Areia grossa	1 – 0,5	2 – 0,2	2 – 0,2
Areia média	0,5 – 0,25	-	-
Areia fina	0,25 – 0,10	0,2 – 0,02	0,2 – 0,05
Areia muito fina	0,10 – 0,05	-	-
Silte	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002	0,05 – 0,002
Argila	< 0,002	< 0,002	< 0,002

Fonte: LIER, 2016.

A distribuição do tamanho das partículas do solo interfere diretamente no grau de compactação, na disponibilidade de água, na capacidade de troca de cátions, na dosagem de nutrientes, corretivos e de herbicidas (KLEIN, 2012). Dentre os vários fatores que afetam a retenção de água, o principal, segundo Scheinost (1997 apud MICHELON, 2010), é a textura do solo, pois ela determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros.

O armazenamento e disponibilidade de água, são sempre maiores em solos argilosos do que em solos arenosos (BEUTLER, 2002). De acordo com Streck (2018), isso se deve ao fato dos solos arenosos possuírem maior macroporosidade, perdendo rapidamente a água retida por evaporação e drenagem, já os solos argilosos, por terem maior microporosidade, retêm volumes mais elevados de água por mais tempo em capacidade de campo e em ponto de murcha permanente, resultando em mais água disponível às plantas.

2.3.2 ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo refere-se ao agrupamento e organização das partículas do solo em agregados e relaciona-se com a distribuição das partículas e agregados num volume de solo (REINERT; REICHERT, 2006). A estrutura, ao contrário da textura, pode ser modificada através de práticas agrícolas, podendo ser degradada ou melhorada. A estrutura do solo pode ser definida também pelo arranjo de poros pequenos, médios e grandes, com consequência da organização das partículas e agregados do solo (REINERT; REICHERT, 2006). A presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação dos diâmetros, é um fator-chave na fertilidade do solo, pois afeta as relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração, temperatura, afetando a produtividade das culturas.

Esses poros podem ser de origem biológica, tendo uma forma arredondada e formados a partir da decomposição de raízes ou resultados de atividades de animais e insetos do solo. Também podem ser originados por outros processos como o umedecimento e secagem, originando poros com um formato irregular.

A classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição de tamanho. De acordo com Kiehl (1979 apud LIER, 2016), foi Schumacher ainda em 1860 o responsável pela classificação da porosidade do solo em duas categorias: microporosidade e macroporosidade. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade (REINERT; REICHERT, 2006). Os microporos são importantes para a retenção e armazenamento de água pelo solo, ao passo que os macroporos são responsáveis pela infiltração, rápida redistribuição e aeração do solo (LIER, 2016).

O movimento livre do ar e da água no solo ocorre através dos macroporos (MICHELON, 2010). Ainda de acordo com o autor, nos microporos o movimento do ar é dificultado, enquanto que o da água fica restrito a capilaridade. Sendo assim, em solos arenosos, mesmo apresentando menor porosidade total o movimento da água é mais rápido, já que eles apresentam maior número de macroporos. Já em solos mais argilosos, mesmo apresentando maior porosidade o movimento da água e dos gases é mais lento, em função de apresentarem maior número de microporos.

Outro fator importante relacionado com a qualidade estrutural do solo é a densidade. Ela pode ser afetada pelos sistemas de manejo. Essas alterações afetam propriedades físico-

hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (KLEIN, 2012). Um aumento na densidade do solo não é necessariamente prejudicial às culturas, porque, em certos limites, esse aumento pode contribuir para o armazenamento de água e para a capacidade de suporte do solo (REICHERDT, 2009).

2.4 RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

A disponibilidade de água, ar, temperatura e um ambiente adequado, sem impedimentos físicos e químicos para o crescimento das raízes são fatores fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A disponibilidade de água pode variar de acordo com o tipo de solo, já que apresentam características distintas. Ainda, a disponibilidade hídrica tem uma forte relação com o manejo que é dado ao solo, podendo esse interferir de maneira positiva ou negativa.

A disponibilidade de água está intimamente relacionada com a flutuação da produção das culturas, ficando mais evidenciada em áreas que não contam com irrigação e que tem histórico de déficit hídrico, já que em áreas irrigadas a falta de água não tende a ser um problema. Contudo, a disponibilidade de água no solo não está diretamente relacionada com a capacidade de retenção de água pelo solo. A armazenagem depende de aspectos como o espaço poroso e a profundidade do solo, enquanto a disponibilidade às plantas depende de fatores intrínsecos do solo e da capacidade das plantas em extrair água nos diferentes teores de umidade e níveis de energia de retenção (PETRY, et al., 2007).

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são considerados os limites máximos e mínimos da água disponível. Respectivamente, a capacidade de campo é definida como o limite superior de retenção hídrica no solo, sendo a máxima quantidade de água que o mesmo pode reter sem causar danos ao sistema (MANTOVANI et al., 2009). O ponto de murcha permanente é definido como a quantidade de água retida no solo em que as plantas são reduzidas a uma condição de murcha a partir do qual não se recuperam desse processo quando colocadas em um ambiente com umidade relativa do ar próximo a 100%, sem adição de água ao solo durante o momento em que a planta se encontra nesse ambiente. Assim, a partir destes é possível determinar a capacidade de armazenamento de água no solo, considerando a profundidade do sistema radicular.

São dois os processos que explicam a retenção de água no solo. No primeiro deles, a retenção ocorre nos chamados poros capilares do solo e pode ser ilustrada pelo fenômeno da capilaridade, o qual está sempre associado a uma interface curva água-ar (LIER, 2016). Ainda segundo o autor, no segundo processo, a retenção ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filmes presos a ela, pelo fenômeno da adsorção. As interfaces água-ar são chamadas de meniscos, e a curvatura destes varia dependendo do tamanho do poro (MICHELON, 2010). Como o solo apresenta grande variedade no tamanho e diâmetro de poros, quando aplicado uma certa energia, esvaziam-se primeiro os poros maiores, e conforme se aumenta a energia os poros menores começam a também esvaziar-se. A capilaridade atua na retenção de água nos solos na faixa úmida (REICHARDT; TIMM, 2004) e segundo Hillel (1980 apud MICHELON, 2010), a adsorção atua na faixa mais seca.

As forças de adsorção dependem, basicamente, da espessura do filme de água que recobre as partículas, a qual varia de acordo com a sua superfície específica (MICHELON, 2010). Portanto, a retenção de água é maior em solos argilosos e com elevado teor de matéria orgânica.

O armazenamento e a retenção de água no solo resultam das forças atrativas que ocorrem entre as fases líquida e sólida do solo, as quais possibilitam a retenção de água no solo contra forças de gravidade, evaporação, absorção pelas raízes e adsorção pelos coloides (LIBARDI, 2005). Como as forças de adsorção e capilaridade atuam sobre a capacidade de retenção de água, por consequência elas também são responsáveis pelo potencial matricial.

2.5 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Diversos métodos e técnicas foram desenvolvidos para determinar a água no solo, porém muitos desses métodos, tanto diretos ou indiretos, demandam de muito tempo, trabalho e ainda podem ter um alto custo. Com relação a armazenagem de água no solo o que realmente importa é o volume de água que a planta terá à disposição em determinado volume de solo. Para isso, é estabelecida uma relação entre o volume de água em determinada área e a profundidade de solo, o que permite estabelecer uma lâmina de água em milímetros (KLEIN, 2012). Quanto menor for o volume de solo disponível às plantas, menor será o volume de água armazenada. Para calcular essa lâmina de água armazenada num perfil podem ser utilizados vários métodos, mas o que mais se destaca é o da regra do trapézio e a regra de Simpson.

Para a determinação do teor de água no solo são utilizados vários métodos e técnicas, alguns demorados, outros caros, e, ainda, alguns imprecisos em função da condição do solo. Um dos métodos mais utilizados é o método padrão, que é a extração de água de uma amostra através do calor, utilizando-se estufas, ou mais recentemente fornos micro-ondas, determinando-se assim, a umidade gravimétrica do solo pela relação entre massa de água e massa de solo seco.

Também é utilizado o método do acetileno, que se fundamenta na reação química da água com o carbureto de cálcio, originando o gás etino, esse método é rápido, simples, barato e indicado para determinação rápida e que não exija muita precisão (KLEIN, 2012). Ainda, segundo o autor, outro método é o de blocos de resistência elétrica, que consiste basicamente em considerar a resistência que o solo oferece à passagem de corrente elétrica de acordo com a presença de água.

Ainda, é possível determinar a umidade do solo através da reflectometria de domínio temporal, que é uma técnica eletromagnética em se utiliza um TDR, que possibilita medir e modelar o conteúdo de água no solo, permitindo obter dados automatizados em curtos intervalos de tempo (ROSSATO, 2002). Outro instrumento para determinação da umidade do solo é a sonda de nêutrons. Esse método utiliza a moderação de nêutrons para determinar a umidade do solo. “A utilidade da sonda de nêutrons possibilita medidas não destrutivas com perturbações mínimas, porém a radioatividade exige significantes precauções quanto a segurança e limita a utilização continua” (ROSSATO, 2002).

2.6 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

O termo funções de pedotransferência ou pedofunções, segundo Pachepsky e Rawls (1999 apud PERASA et al.), foi descrito pela primeira vez no ano de 1989 por Bouma e foi usado para descrever as equações que expressam a dependência da retenção de água no solo e a condutividade hidráulica do solo em parâmetros disponíveis nos estudos de solos. Essas pedofunções são utilizadas para estimar características edáficas que são difíceis de se obter através de outras de mais fácil obtenção.

Propriedades hidráulicas do solo são, em geral, de difícil determinação, principalmente devido ao alto custo e demanda de muito tempo. Dessa forma o uso dessas funções de pedotransferência tem grande importância. Tomasella et al. (2000) diz que, as funções de pedotransferência podem prever propriedades hidráulicas do solo, como, por exemplo, o

conteúdo de água a um particular valor de potencial matricial, como na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente, e a água disponível para as plantas.

Em geral, os trabalhos com FPTs utilizam a análise de regressão múltipla, mas novos métodos de predição estão sendo apresentados com base em outras avaliações (NASCIMENTO et al., 2010). Praticamente não existe diferença em resultados obtidos com funções de regressão que contêm poucas variáveis quando comparadas com o emprego de funções com várias variáveis. Portanto, é mais viável a utilização de funções com menos variáveis, pois demandam de menos tempo e tem um custo reduzido. De acordo com Landim (2000, apud NASCIMENTO et al., 2010), o mais importante no uso das equações de regressão múltipla é escolher algumas variáveis relevantes dentre um conjunto, e para tanto, o método “passo a passo” (‘stepwise multiple regression’) é o mais recomendado. Segundo Oliveira (2002), as pedofunções tendem a ter melhor desempenho em sua aplicação quanto mais homogêneo forem os solos usados para calibração e os solos que terão os dados estimados.

Nas últimas décadas foram desenvolvidas inúmeras funções de pedotransferência. Assim, de acordo com Budiman et al. (2003), é preciso definir dois princípios de funções de pedotransferência, o primeiro é o de não prognosticar algo que é mais fácil e mais barato medir ou determinar, já o segundo princípio é não usar pedofunções, a menos que se possa avaliar a incerteza associada e, para um determinado problema, se um conjunto de pedofunções alternativas está disponível, usar aquela com menor variância.

Atualmente existem diversos trabalhos propondo equações para predição do conteúdo de água retida no solo nos potenciais equivalentes ao ponto de murcha permanente, água disponível e capacidade de campo. No entanto, estas equações não devem ser usadas indiscriminadamente, pois, em sua maioria, foram desenvolvidas com solos de clima temperado e seu uso impescinde de calibrações locais (OLIVEIRA, et al., 2002). Contudo, de acordo com Tomasella (2000), a maior parte dessas equações não são adequadas às condições dos solos do Brasil. No Brasil, são encontrados poucos resultados de pesquisa em pedofunções relacionadas a retenção de água (MINASNY, et al., 2003). Isso se deve, principalmente, a baixa disponibilidade de bancos de dados com características físicas dos solos.

No Brasil, já foram estabelecidas algumas funções de pedotransferência para estimar a retenção de água no solo (GIAROLA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002), contudo, sua validação para os solos diferentes daqueles do banco de dados tem sido pouco investigado, tornando o grau de eficiência para o uso generalizado dessas equações bastante questionável (REICHERT et al., 2009). Dessa forma, é importante o uso de equações geradas a partir de dados dos solos em que se pretende aplica-las. Assim, as pedofunções utilizadas nesse estudo,

são oriundas de estudos com base em amostras coletadas de vários horizontes e classes de solos em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, resultando em um total de 725 conjuntos de dados (REICHERT et al., 2009).

2.7 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO – ZARC CONSIDERANDO OS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

As portarias de Zoneamento Agrícola de Risco Climático são divulgadas anualmente no Diário Oficial da União para a vigência na safra indicada. Esse método foi desenvolvido pela Embrapa e parceiros sendo aplicado oficialmente no Brasil desde 1996 por meio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Ele proporciona a indicação de datas ou períodos de plantio/semeadura por cultura e por município, considerando as características do clima, o tipo de solo e ciclo de cultivares, de forma a evitar que adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis das culturas, minimizando as perdas agrícolas (EMBRAPA, 1995).

Considerando os diferentes tipos de solos encontrados no território brasileiro, têm se gerado bastante dúvidas de interpretação. Então, com intuito de simplificar a tipificação dos solos adotada no Zoneamento Agrícola de Risco Agroclimático, visando adequado entendimento por parte dos laboratórios para análise granulométrica são determinadas as quantidades de argila, silte e areia e a partir dessas os solos foram agrupados em três categorias.

Os solos são agrupados em três categorias quanto à capacidade de retenção de água: arenoso (Tipo 1); textura média (Tipo 2); e argiloso (Tipo 3), conforme disposto na Instrução Normativa nº 2, de 09 de outubro de 2008 (MAPA, 2016). Segundo essa normativa, os solos do tipo 1 apresentam teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%, os solos do tipo 2 apresentam teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% de areia, já os solos do tipo 3 apresentam teor de argila superior a 35%.

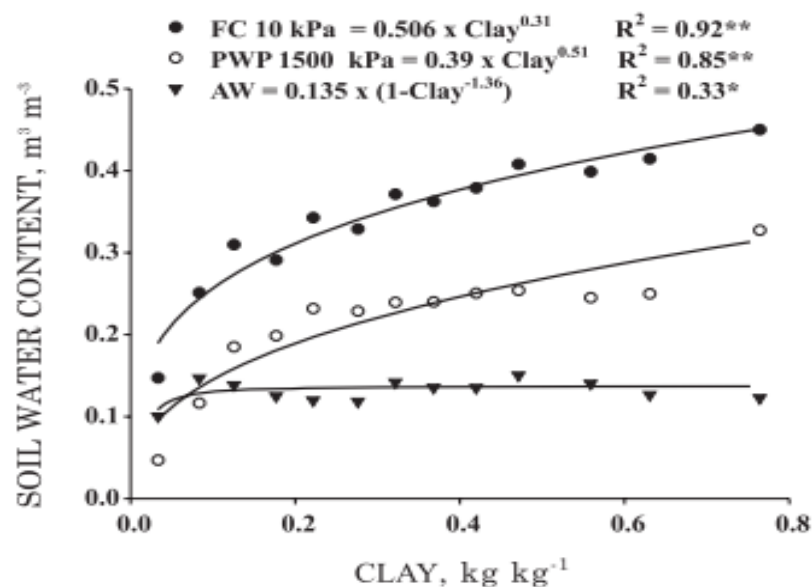
3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção da capacidade efetiva de armazenamento de água no solo, foram utilizadas funções de pedotransferência para os solos do Rio Grande do Sul (RS). Essas funções de pedotransferência utilizadas são oriundas da literatura, do artigo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, intitulado “Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul”.

As pedofunções geradas por esse artigo são de alta confiabilidade para os solos do Rio Grande do Sul, pois foram originadas de dados de solos do Rio Grande do Sul, sendo esses dados, oriundos de várias classes texturais presentes no estado do Rio Grande do Sul.

Para o cálculo da capacidade de campo foi utilizada a pedofunção $CC\ 10kPa = 0,506 \times \text{argila}^{0,31}$ ($R^2 = 0,92$) e para o cálculo do ponto de murcha permanente foi utilizada a pedofunção $PMP\ 1500kPa = 0,39 \times \text{argila}^{0,51}$ ($R^2 = 0,85$) (REICHERT et al., 2009) (Figura 1). A capacidade de campo foi padronizada em 10 kPa e o ponto de murcha em 1500 kPa. Ambas as pedofunções possuem um alto coeficiente de determinação.

Figura 1 - Relação entre o teor de argila no solo e o teor de água na capacidade de campo (FC = 10 kPa), no ponto de murcha permanente (PWP = 1500 kPa) e a água disponível à planta (AW = diferença entre o conteúdo de água a 10 e a 1500 kPa) para os solos do RS.



Fonte: REICHERT et al., 2009.

Através dos resultados da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente foram calculadas a capacidade de armazenamento total de água no solo e a disponibilidade de água no solo para diferentes profundidades efetivas do solo (Tabela 3). A capacidade total de armazenamento foi calculada pela equação $CAT = (CC * Profundidade) * 10$, já a capacidade de água disponível foi calculada pela equação $CAD = (CC - PMP) * profundidade * 10$. Os cálculos foram realizados limitando a profundidade efetiva até 100 cm para os solos com profundidade superior.

Tabela 3 - Profundidade efetiva do solo a ser estudado.

Categoria	Profundidade (cm)
Muito rasa	< 25
Rasa	25 a 50
Moderadamente profunda	50 a 100

Fonte: PEREIRA; GOMES, 2017.

Muitos solos apresentam limitações para o crescimento radicular das plantas, o que leva a uma diminuição da profundidade efetiva do solo. Essas limitações podem ser físicas, como a compactação do solo, presença de concreções ao longo do perfil do solo, grande presença do material de origem. Ainda, o solo pode apresentar alta saturação por alumínio (Al) dificultando o crescimento em profundidade das raízes. Além disso, no estado do Rio Grande Sul podem ser encontrados alguns solos que não atingem profundidade efetiva adequada para cultivos agrícolas, se tornando também um fator limitante o que diz respeito ao crescimento de plantas com fins comerciais sem o uso de irrigação.

Diante disso, também foi calculada a disponibilidade de água em diferentes profundidades do solo para demonstrar a importância de um bom manejo do solo, assim como a escolha de um solo com aptidão agrícola (Tabela 4). Nos casos em que a profundidade do solo não atinge a camada da tabela 4, os cálculos foram realizados para a profundidade máxima do perfil do solo.

Tabela 4 - Profundidades do solo para o cálculo da disponibilidade de água.

Nível	Profundidade (cm)
1	0 – 10
2	0 – 20
3	0 – 40
4	0 – 60
5	0 – 80

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os solos também foram classificados quanto ao tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Agroclimático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento com as especificações para solos. De acordo com essa classificação, os solos do tipo 1, são solos com teor mínimo de 10% de argila e menor que 15% ou com teor de argila igual ou maior do que 15%, nos quais a diferença entre o percentual de areia e o percentual de argila seja maior ou igual a 50. Os solos do tipo 2, apresentam teor mínimo de 15% de argila e menor do que 35%, nos quais diferença entre o percentual de areia e o percentual de argila seja menor do que 50. Os solos do tipo 3, apresentam teor de argila igual ou superior a 35%. Solos com teores menores que 10% de argila não apresentam aptidão para o cultivo de culturas anuais.

Durante o florescimento a cultura do milho demanda acerca de 7 mm diários de água disponível no solo para as condições do estado do Rio Grande do Sul (BERGAMASCHI et al., 2001). Já para a cultura da soja, ela atinge o máximo de exigência hídrica na floração e enchimento de grãos, entre 7 a 8 mm dia⁻¹ (NUNES, 2016). Assim, foi determinado o número de dias em que as culturas do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*) estão supridas com a água disponível no solo. Para tal, foi feita a relação entre a quantidade total de água disponível e a demanda diária de cada cultura, sendo para o milho 7 mm diários e para a cultura foi feita a média, resultando em 7,5 mm diários.

A interpretação dos dados foi feita agrupando as classes de solos de acordo com a sua capacidade de armazenamento e disponibilidade de água. Os dados sobre as características dos solos são oriundos do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973). Eles foram agrupados em tabelas de acordo com a classe de solo, como pode ser visto nas tabelas a seguir.

Tabela 5 - Unidades de mapeamento classificadas como Latossolos PARTE 1.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Vacaria	Latossolo	4646	Basalto	Ap	0-11	17,0	60	2,9	9	32	59
				AB	11-37	15,8	75	2,39	7	30	63
				BA	37-54	13,1	87	1,65	7	20	73
				B	54-90	7,8	88	0,67	6	21	73
				BC	90-135	7,2	70	0,27	27	24	49
Erval Grande	Latossolo	140	Basalto	A	0-40	21,6	92	3,41	11	32	57
				AB	40-60	12,5	92	1,2	10	30	60
				BA	60-80	11,1	93	1,02	7	22	71
				B	80-130	9,8	92	0,77	7	23	70
				A	0-20	13,8	62	1,89	6	24	70
Durox	Latossolo	3060	Basalto	AB	20-50	11,7	82	1,49	4	22	74
				BA	50-70	10,6	86	1,03	4	21	75
				B	70-140	8,4	83	0,59	4	18	78
				A	0-15	14,6	90	1,8	3	23	74
				AB	15-60	12,8	91	1,24	1	19	80
Erechim	Latossolo	12795	Basalto	BA	60-90	9,1	91	0,9	1	16	83
				B	90-150	9,0	86	0,67	1	17	82
				A	0-40	8,9	20	1,23	13	25	62
				AB	40-80	5,6	20	0,53	9	19	72
				BA	80-120	6,3	39	0,51	9	17	74
Santo Ângelo	Latossolo	19560	Basalto	A1	0-30	10,5	56	1,36	44	14	42
				A2	30-50	10,2	53	1,27	41	14	45
				AB	50-70	9,7	62	1,15	37	13	50
				BA	70-120	8,6	76	0,65	35	11	54
				A	0-13	6,4	45	1,02	70	9	21
Cruz Alta	Latossolo	7945	Arenito Botucatu	AB1	13-35	5,6	54	1,06	70	8	22
				AB2	35-55	5,5	54	0,74	66	8	26
				BA	55-100	4,4	67	0,56	65	8	27
				A	0-15	18,3	2	3,21	15	29	54
				AB	15-45	14,0	13	1,09	11	32	57
Estação	Latossolo	3295	Basalto	B1	45-70	11,3	27	0,72	8	22	71
				B2	70-160	9,8	30	0,47	9	26	64

Tabela 6 - Unidades de mapeamento classificadas como Latossolos PARTE 2

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Cerrito	Latossolo	175	Arenito Grossoiro	A	0-35	6,3	46	0,85	59	19	22
				AB	35-60	5,9	58	0,6	53	18	29
				BA	60-94	5,6	65	0,43	46	19	35
				B	94-136	5,9	68	0,22	44	16	40

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 7 - Unidades de mapeamento classificadas como Planossolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Vacacaí	Planossolo	16340	Sedimentos de Arenitos e Siltitos	A1	0-30	6,5	53	0,74	64	26	10
				A2	30-45	3,7	70	0,25	64	28	8
				E1	45-60	2,2	60	0,14	67	29	4
				E2	60-70	1,6	33	0,07	66	32	2
				Bg	70-120	15,0	11	0,24	44	22	34
São Gabriel	Planossolo	2195	Folhelos Argilosos e Siltosos	A	0-20	22,5	16	1,4	11	54	35
				B	20-40	32,8	15	1,29	3	29	68
				BC	40-55	40,3	5	0,49	1	41	58
				C	55-68	44,1	3	0,26	0	50	50
				B	68-100	58,2	2	0,12	3	51	46
Pelotas	Planossolo	7320	Sedimentos de Granito	A1	0-23	6,7	24	0,48	44	36	19
				A2	23-40	5,4	41	0,86	50	36	14
				E	40-43	13,6	11	0,28	30	28	42
				Bg	43-80	10,4	7	0,14	35	31	34
Bagé	Planossolo	1835	Siltitos	A	0-25	13,6	10	1,84	41	42	12
				B	25-40	30,9	9	0,9	22	34	44
				C	40-60	36,4	0	0,73	19	42	40
				R	60+	52,6	0	0,24	24	57	20

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 8 - Unidades de mapeamento classificadas como Cambissolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Farroupilha	Cambissolo	3180	Basalto	A1	0-27	23,1	80	3,78	16	38	46
				A2	27-50	20,7	87	2,4	14	32	54
				BA	50-70	15,7	93	1,43	11	28	61
				B1	70-100	11,2	93	0,89	11	29	60
Bom Jesus	Cambissolo	2590	Basalto	A1	0-17	20,0	63	2,79	16	31	52
				A2	17-40	18,2	81	2,24	13	28	59
				A3	40-66	17,1	86	1,76	11	22	67
				AB	66-87	14,0	86	1,04	15	21	64
				BA	87-120	12,0	85	0,76	17	24	59
Rocinha	Cambissolo	133	Basalto	A1	0-20	45,4	77	12,71	43	35	21
				A2	20-50	32,6	94	5,13	58	15	27
				AB	50-62	18,0	94	1,95	34	24	42
				BA	62-90	10,3	92	0,83	25	26	49
				B	90-155	10,6	91	0,50	22	30	48

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 9 - Unidade de mapeamento classificada como Plintossolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Durasnal	Plintossolo	250	Sedimentos de Basalto	A	0-10	12,5	37	1,19	24	53	23
				BA	10-50	10,4	63	0,71	29	44	28
				Bg	50-70	18,4	45	0,43	15	27	57
				BCg	70-130	20,7	50	0,3	14	26	61

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 10 - Unidades de mapeamento classificadas como Gleissolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km ²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm ³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Mangueira	Gleissolo	1365	Sedimento Lacustre e Marinho	A	0-11	51,4	0	8,04	31	45	24
				AB	11-21	46,5	0	4,9	18	40	42
				B1	21-38	43,6	0	1,18	8	39	53
				B2	30-73	45,4	0	0,49	3	48	49
				B3	65-93	51,9	0	0,28	14	34	52
Colégio	Gleissolo	385	Sedimentos Aluvionais	Ap	0-12	43,6	6	7,55	24	27	49
				A2	12-70	20,2	5	1,66	40	24	36
				CBg	70-110	8,7	10	0,25	52	26	22
Itapeva	Gleissolo	444	Sedimentos Finos				24				
				A1	0-20	38,0		4,4	1	28	71
				A2	20-38	36,1	0	1,19	2	19	79
Banhado	Gleissolo	2635	Sedimentos Aluvionais	CG	38-47	27,9	0	0,68	24	17	59
				A	0-15	25,0	16	1,43	7	52	41

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 11 - Unidade de mapeamento classificada como Nitossolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km ²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm ³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
São Borja	Nitossolo	2080	Basalto	A	0-15	15,6	3	1,92	10	41	49
				AB	15-40	12,9	13	1,29	8	37	56
				BA	40-65	11,7	16	0,87	6	29	65
				B1	65-95	10,4	12	0,61	6	19	76
				B2	95-130	10,0	25	0,45	5	17	78

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 12 - Unidades de mapeamento classificadas como Chernossolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Ciriaco	Chernossolo	31970	Basalto e Meláfios	Ap	0-25	17,7	0	1,65	42	40	18
				AB	25-48	17,0	0	1,08	37	40	23
				B	48-90	22,8	0	0,59	24	36	39
Vila	Chernossolo	2460	Sedimentos de basalto	Ap	0-30	23,0	1	1,32	4	60	36
				AB	30-63	21,8	1	0,64	7	57	36
				BA	63-99	21,3	3	0,55	10	54	36
				B	99-147	22,1	4	0,52	8	55	37
Seival	Chernossolo	365	Andesitos	A	0-28	24,4	2	2,15	29	39	32
				B1	28-50	38,2	1	1,97	8	17	75
				B2	50-65	38,1	1	1,48	7	16	77
				C	65-110	40,2	0	0,32	18	36	46
Venda Grande	Chernossolo	840	Siltitos e Arenitos	A	0-28	19,3	29	1,34	64	17	
				B	28-42	30,3	33	0,64	51	20	19
				CB	42-75	29,4	34	0,22	58	25	17
				C2	75-100	30,4	19	0,15	36	59	5
Uruguiana	Chernossolo	2695	Sedimentos de basalto	A	0-30	19,4	0	1,62	25	50	25
				B1	30-57	32,0	0	0,99	19	41	40
				B2	57-62	32,6	0	0,55	19	37	44
				BC	62-80	31,8	0	0,45	19	35	46
Ponche Verde	Chernossolo	423	Siltitos	CB	80-130	29,0	0	0,21	22	36	46
				A	0-25	27,6	12	1,8	15	42	43
				BA	25-55	26,5	12	1,27	14	41	45
				B1	55-70	35,6	2	1,22	11	33	56
				B2	70-75	47,0	1	0,03	7	22	71
				CB	75-96	44,4	0	0,3	1	45	54
Formiga	Chernossolo	1000	Sedimentos lacustres	C	96-120	41,6	0	0,14	0	42	58
				A1	0-20	9,9	0	1,24	57	30	13
				A2	20-37	11,7	0	0,64	56	27	17
				Bt	37-55	20,7	0	0,37	48	22	30
				BC	55-85	20,3	0	0,2	45	24	31
				CB	85-115	25,4	0	0,1	39	28	33

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 13 - Unidades de mapeamento classificadas como Luvisolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Cambaí	Luvisolo	810	Xistos	A1	0-26	14,5	3	2,07	35	40	25
				A2	26-53	11,7	3	0,77	39	37	24
				B	53-67	14,1	3	0,76	29	30	41
				BC	67-85	13,1	4	0,44	33	43	24
				C	85-130	12,9	4	0,24	40	48	12
Bexigoso	Luvisolo	3300	Granitos e Gnaisses	A1	0-20	10,0	14	1,19	52	31	17
				A2	20-35	12,5	14	1,08	42	30	28
				B	35-60	20,1	17	1,13	20	24	56
				C	50-90	17,1	7	0,45	40	30	30
Carajá	Luvisolo	460	Arenitos Camaquã	A	0-35	13,6	49	1,72	54	26	20
				E1	35-49	7,6	62	0,8	58	26	16
				E2	49-57	6,7	31	0,43	57	26	16
				B	57-78	26,0	1	0,49	12	37	51
				C	80-100	11,0	0	0,14	59	24	17
Caldeirão	Luvisolo	315	Arenitos Camaquã	A1	0-30	9,0	12	1,16	58	26	16
				A2	30-45	7,4	30	0,58	57	26	17
				AB	45-55	8,1	36	0,45	50	26	24
				B1	55-90	16,7	21	0,45	31	23	46
				B2	90-160	16,8	0	0,41	38	27	35
Piraí	Luvisolo	620	Siltitos	A	0-23	20,1	33	1,96	21	42	37
				B	28-45	35,1	10	1,15	10	39	51
				BC	45-65	38,1	20	0,6	8	68	24
				CB	65-80	41,2	1	0,38	4	77	19
Virginia	Luvisolo	2460	Sedimentos de basalto	C	80-300	43,5	0	0,10	11	76	13
				A	0-40	11,9	14	1,48	59	23	10
				BA	40-80	20,5	12	0,68	25	26	49
				B	80-150	25,5	0	0,29	23	26	51

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 14 - Unidades de mapeamento classificadas como Vertissolos.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Escobar	Vertissolo	510	Basalto	A11	0-15	56,5	0	5,64	5	43	52
				A12	15-70	62,5	0	3,33	3	31	66
				C	70-120	56,6	0	0,44	10	30	59
Aceguá	Vertissolo	1105	Argilitos e Siltitos	A1	0-20	30,1	5	1,79	4	36	60
				A2	20-43	38,5	7	1,25	2	21	77
				A/C	43-50	41,3	2	0,76	2	34	64
				CB	50-62	35,5	1	0,56	3	36	61
				C2	62-110	31,1	1	0,21	3	39	58

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 15 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Regolítico.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Charrua	Neossolo Regolítico	3815	Basalto	A	0-20	45,8	0	2,2	28	62	11
Pedregal	Neossolo Regolítico	13105	Basalto	A	0-15	16,0	63	1,29	55	28	17
Ibaré	Neossolo Regolítico	1545	Xisto	A	0-40	17,8	23	2,3	26	40	34
Pinheiro Machado	Neossolo Regolítico	6060	Granitos	A	0-50	11,2	8	2,43	55	24	21
Caxias	Neossolo Regolítico	3180	Basalto	A1	0-25	17,3	45	1,97	14	44	42
				A2	25-50	11,2	90	1,23	21	44	35

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 16 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Litólico.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Lavras	Neossolo Litólico	270	Andesitos	A	0-30	18,3	2	22,4	42	25	33
Guaritas	Neossolo Litólico	2305	Arenitos e seixos	A1	0-20	8,0	19	0,91	77	13	10
				A2	20-40	7,7	18	0,8	76	14	10
Guassupi	Neossolo Litólico	6305	Basalto	A	0-20	12,2	18	2,02	19	58	23

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 17 - Unidades de mapeamento classificadas como Neossolos Quartzarênico.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Osório	Neossolo Quartzarênico	1400	Sedimentos não consolidados	A	0-30	5,5	48	0,83	90	4	6
				E	30-215	3,9	75	0,25	88	3	9
Curumim	Neossolo Quartzarênico	1020	Sedimentos arenosos	A	0-20	20,8	73	5,47	79	13	8
				C	20-80	2,1	50	0,28	97	1	2
Lagoa	Neossolo Quartzarênico	510	Sedimentos lacustres	A1	0-10	8,3	4	2,74	72	33	5
				A2	10-27	5,1	7	0,73	72	23	5
				B1	27-53	11,3	1	0,48	69	20	11
				B2	53-75	11,4	0	0,22	67	20	13
				BC	75-124	10,0	0	0,12	63	24	13

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 18 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 1.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km ²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm ³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Bom Retiro	Argissolo	2695	Arenito Botucatu	A1	0-20	2,4	67	0,29	80	12	8
				A2	20-42	3,0	86	0,27	77	13	10
				E	42-65	2,4	82	0,21	78	15	7
				AB	65-80	2,9	86	0,24	74	15	11
				B	80-103	7,8	88	0,48	49	13	38
Tuia	Argissolo	1795	Sedimentos Arenosos Costeiros	A	0-30	1,6	22	0,16	80	8	2
				E1	30-38	1,0	25	0,03	81	8	1
				E2	38-100	0,9	0	0,01	82	7	1
Itapoã	Argissolo	565	Sedimentos Arenosos	A	0-10	2,2	15	0,39	87	5	8
				E	10-90	0,9	50	0,13	93	1	6
				A2	90-170	33,0	43	0,13	88	5	7
Santa Clara	Argissolo	140	Arenito e Siltito	A1	0-30	4,8	33	0,83	68	23	9
				A2	30-70	3,7	56	0,41	68	24	8
				E	70-85	2,2	52	0,18	69	25	6
				AB	85-100	3,1	47	0,16	65	25	10
Vera Cruz	Argissolo	615	Siltitos	A	0-15	19,6	0	4,17	11	64	25
				E	15-25	11,0	9	1,37	14	69	17
				AB	25-52	13,2	52	1,27	24	63	23
				BA	52-80	12,5	75	0,99	12	60	28
				B	80-105	14,0	83	0,82	9	50	41
São Pedro	Argissolo	6675	Arenitos	A1	0-25	5,4	38	0,69	73	12	15
				A2	25-65	5,7	36	0,69	78	10	12
				AB	65-100	9,2	20	0,6	60	11	29
Tupanciretã	Argissolo	795	Arenitos Tupanciretã	A1	0-25	3,7	47	0,68	82	8	10
				A2	25-60	4,6	60	0,45	76	8	16
				AB	60-90	5,0	51	0,38	70	11	19
				BA	90-125	6,2	44	0,33	69	9	22

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 19 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 2.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Gravataí	Argissolo	690	Sedimentos	A1	0-16	7,7	15	1,12	54	28	18
				A2	16-35	8,1	46	0,93	50	25	25
				AB	35-67	8,9	40	0,75	44	24	32
				BA	67-100	8,7	39	0,61	38	24	38
Camaquã	Argissolo	4825	Granitos	A	0-30	4,8	29	0,74	69	20	11
				AB	30-42	4,8	42	0,52	56	24	20
				BA	42-58	7,4	44	0,52	43	19	38
				B	58-90	7,6	44	0,42	39	17	44
				B2	90-120	6,3	52	0,30	46	14	40
Julio de Castilhos	Argissolo	1970	Basalto	A1	0-10	12,8	16	2,63	25	40	35
				A2	10-30	10,6	56	1,65	23	37	40
				AB	30-50	11,1	66	1,41	22	31	47
				B	50-80	10,4	82	0,67	12	26	62
				BC	80-150	9,4	84	0,32	13	22	65
Oasis	Argissolo	2705	Basalto	A1	0-25	9,5	41	1,11	11	53	36
				A2	25-40	10,5	47	1,15	9	45	46
				B1	40-65	12,2	81	1,24	5	31	64
				B2	65-85	13,1	85	1,21	5	29	66
				BC	85-130	12,5	87	0,58	8	40	52
Rio Pardo	Argissolo	2120	Siltitos e Arenitos	A	0-50	7,7	73	0,73	57	15	28
				AB	50-70	8,2	75	0,71	52	13	35
				B1	70-113	8,3	81	0,58	45	13	42

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 20 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 3.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
São Jerônimo	Argissolo	1345	Granitos	A	0-20	8,5	25	1,16	47	22	31
				AB	20-42	9,9	49	0,93	29	23	48
				B1	42-70	9,0	53	0,68	34	19	47
				B2	70-130	8,0	55	0,45	38	19	43
Alto das Canas	Argissolo	2180	Argilitos e Siltitos	A	0-40	8,8	24	1	45	22	23
				AB	40-70	10,5	37	0,91	36	32	32
				BA	70-110	10,8	37	0,7	24	24	52
Santa Tecla	Argissolo	1180	Arenitos Santa Tecla	A1	0-25	6,2	50	0,95	75	13	12
				A2	25-70	7,2	17	0,74	66	15	18
				B1	70-100	11,0	31	0,78	44	13	44
Pituva	Argissolo	410	Basalto	A	0-15	14,6	3	1,95	35	35	30
				B1	15-37	13,9	50	1,53	27	23	50
				B2	37-74	15,1	50	1,14	20	17	63
				CB	70-100	17,8	34	0,66	18	33	49
Matarazo	Argissolo	1380	Granitos e Migmatitos	A	0-22	8,7	11	2,9	70	13	17
				AB	22-35	12,5	18	1,8	47	10	43
				BA	35-50	15,5	34	1,5	27	10	63
				B1	50-74	14,9	30	0,8	27	14	59
				B2	63-104	15,5	17	0,4	30	16	54
Carlos Barbosa	Argissolo	3180	Basalto	A1	0-25	12,4	18	1,23	30	39	30
				A2	25-50	12,4	9	0,7	25	34	41
				B	50-105	17,0	69	0,61	15	35	60

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

Tabela 21 - Unidades de mapeamento classificadas como Argissolos PARTE 4.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Área Ocupada (Km²)	Material de Origem	Horizonte	Profundidade (cm)	CTC Potencial ou a pH 7 (cmol/dm³)	Saturação Al (m%)	Carbono (%)	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)
Santa Maria	Argissolo	5050	Siltitos e Arenitos	A1	0-20	12,1	28	1,67	56	30	14
				A2	20-40	11,4	37	1,2	56	28	15
			Arenitos	AB	40-55	15,0	61	0,64	44	33	23
				B	55-75	22,3	64	0,54	15	63	22
				CB	75-115	21,3	3	0,16	19	72	10
Tala	Argissolo	73	Arenito	A1	0-30	5,2	38	0,87	78	13	9
				A2	30-55	4,9	48	0,54	74	15	11
				AB	55-85	4,9	53	0,37	68	17	15
				B	85-110	11,6	55	0,73	46	15	39
Livramento	Argissolo	270	Arenito	A1	0-25	5,8	36	0,81	81	11	8
				A2	25-45	6,5	56	0,72	75	12	13
				AB	45-60	9,1	69	0,82	62	13	25
				B1	60-90	12,6	79	0,82	43	13	44
				B2	90-120	9,0	81	0,47	52	13	35
Ramos	Argissolo	236	Arenitos, Siltitos e Lamitos	A	0-45	9,5	67	0,93	50	33	17
				AB	45-63	8,7	75	0,74	49	29	22
				BA	63-77	9,2	80	0,65	39	28	33
				B	77-97	8,9	80	0,56	38	28	34
				BC	97-136	6,3	73	0,28	41	27	32

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1973.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA MUITO RASA

Houve variação na quantidade de água armazenada no solo (Tabela 22). Isso demonstra que, as diferentes características de retenção de água no solo, principalmente, a textura afetou a capacidade de retenção de água no solo (ROSSATO, 2002). Ainda, a profundidade influenciou na quantidade de armazenada no solo, visto que, os solos das unidades de mapeamento Banhado e Pedregal possuem apenas 15 cm de profundidade, sendo os cálculos realizados para esses 15 cm.

Tabela 22 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para os solos com profundidade efetiva muito rasa.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Classe Textural	Profundidade (cm)	Tipo de Solo ZARC	Quantidade de Água Armazenada (mm)
Banhado	Gleissolo	Argilo siltosa	15	3	57,57
Charrua	Neossolo Regolítico	Franco siltosa	20	1	51,05
Pedregal	Neossolo Regolítico	Franco arenosa	15	2	43,82
Guassupi	Neossolo Litólico	Franco siltosa	20	2	64,17
Curumim	Neossolo Quartzarenico	Areia franca	20	Sem Aptidão	46,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses solos têm como característica baixo teor de argila, exceto a unidade de mapeamento Banhado assim sendo, apresentam maiores teores de silte e areia. Isso interfere diretamente na capacidade de retenção e armazenamento de água no solo, visto que, em solos arenosos o armazenamento de água é menor que em solos argilosos. Isso ocorre devido aos solos mais arenosos terem maior quantidade de macroporos, perdendo rapidamente a água retida por evaporação e drenagem (STRECK, 2018).

Além disso, esses solos têm também como característica marcante, a pouca profundidade, atingindo até 20 cm de profundidade. Com a pouca profundidade têm-se um menor espaço para armazenar a água. Por serem solos rasos, eles não são recomendados para cultivos agrícolas, mesmo que perante a normativa Nº 2, de 9 de outubro de 2008 alguns possam ser utilizados, já que apresentam teores de argila maiores que 10 %, exceto a unidade de mapeamento Curumim conta com apenas 8 % de argila. Ainda, devido à pouca profundidade impedem o crescimento radicular das plantas em profundidade.

Devido à pouca profundidade e baixa capacidade de armazenamento de água no solo, a disponibilidade de água às plantas também é baixa, o que pode ocasionar em estresse hídrico. Dessa forma, são poucos os dias que a planta estará suprida com água, como pode visto na tabela 23.

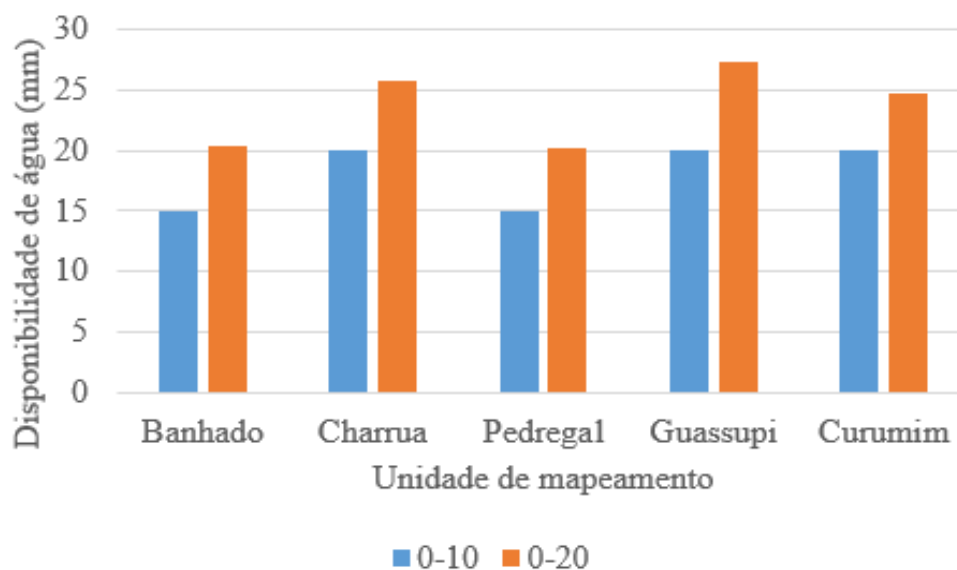
Tabela 23 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) para as unidades de mapeamento classificadas como profundidade efetiva muito rasa.

Unidade de Mapeamento	Disponibilidade Total de Água (mm)	Dias Supridos para a Soja (7,5mm/dia)	Dias Supridos para o Milho (7mm/dia)
Banhado	20,45	3	3
Charrua	25,75	3	3
Pedregal	20,12	3	3
Guassupi	27,31	3	4
Curumim	24,74	3	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando os atributos da tabela 23, percebe-se que na cultura da soja todos os solos conseguem disponibilizar água por apenas três dias. Da mesma forma ocorre para o milho, no qual o período suprido também é de apenas três dias, exceto na unidade de mapeamento Guassupi, em que o período é de quatro dias. Esse período é muito curto, visto que, perante as condições climáticas do estado do Rio Grande do Sul é normal que não chova por períodos maiores que três dias durante o ciclo dessas culturas. Mesmo já sendo um curto período em que a planta terá água disponível, ele pode ainda ser menor, caso se tenha um manejo inadequado desses solos, dificultado o crescimento das raízes (Figura 2).

Figura 2 - Relação da disponibilidade de água para as profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm para a profundidade efetiva muito rasa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da figura 2, se percebe que são solos muito rasos, e que não disponibilizam grande quantidade de água às plantas. Nas unidades de mapeamento Banhado e Pedregal, na camada de 0-10 cm de profundidade ambas as culturas tem água disponível no solo para apenas dois dias, já nas demais unidades de mapeamento esse período passa a ser de três dias. Na camada de 0-20 cm, as unidades de mapeamento Curumim e Charrua tem capacidade para suprir as plantas com água por até três dias, já na unidade de mapeamento Guassupi esse período pode ser de até 4 dias. As unidades de mapeamento Banhado e Pedregal, possuem apenas 15 cm de profundidade, sendo assim, os valores de disponibilidade de água são menores, visto que os cálculos foram realizados para a camada 0-15 cm.

Diante desses dados, percebe-se que esses solos não apresentam aptidão para o cultivo de milho e soja, devido à pouca profundidade. Ainda, mesmo sendo solos rasos, eles podem apresentar uma camada compactada ou uma acidez por alumínio tóxico ao longo do perfil, causando problemas no crescimento radicular das plantas, diminuindo a profundidade efetiva das raízes. Dessa forma, o crescimento radicular que em boas condições pode atingir até 20 cm de profundidade ficará comprometido, concentrando-se em uma camada menor que pode ser de apenas 10 ou 15 cm, diminuindo ainda mais os dias que planta estará suprida com água.

4.2 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA RASA

A capacidade de armazenamento de água no solo foi maior nos solos com textura mais argilosa (Tabela 24). Avaliando essa tabela, o solo que apresentou maior capacidade de armazenamento de água foi o Gleissolo da unidade de mapeamento Itapeva, que tem mais de 70% de argila. Já o Neossolo Litólico da unidade de mapeamento Guaritas que tem apenas 10% de argila, apresentou a menor capacidade de armazenamento de água.

Tabela 24 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva rasa.

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Classe Textural	Profundidade (cm)	Tipo de Solo ZARC	Quantidade de Água Armazenada (mm)
Itapeva	Gleissolo	Muito argilosa	47	3	214,34
Caxias	Neossolo Regolítico	Argilo siltosa	50	3	188,03
Pinheiro Machado	Neossolo Regolítico	Franco argilo arenosa	50	2	155,96
Ibaré	Neossolo Regolítico	Franco argilosa	40	2	144,87
Lavras	Neossolo Litólico	Franco argilosa	30	2	107,65
Guaritas	Neossolo Litólico	Franco arenosa	40	1	99,13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre esses solos, apenas os das unidades de mapeamento Caxias e Pinheiro Machado possuem aptidão agrícola, visto que possuem profundidade mínima de 50 cm segundo o Zoneamento Agrícola de Risco Agroclimático (ZARC). Contudo, quando considerada a capacidade de retenção de água no solo, sendo esse um dos focos do trabalho, o que menos apresenta aptidão agrícola é o Neossolo Litólico da unidade de mapeamento Guaritas, pois se encontra no limite mínimo da quantidade de argila de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Esse solo apresenta grande quantidade de areia e naturalmente apresenta grande quantidade de macroporos, resultando em maior velocidade de infiltração de água, porém diminui a capacidade de retenção e armazenamento de água no solo.

Por outro lado, o Gleissolo da unidade de mapeamento Itapeva apresenta elevado teor de argila, o que aumenta sua capacidade de retenção e armazenamento de água no solo. Essa maior capacidade de retenção se deve ao fato, das partículas de argila possuírem maior área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros. Ainda, os solos argilosos têm maior Microporosidade, então retêm volumes mais elevados de água por mais tempo em capacidade de campo e em ponto de murcha permanente, resultando em mais água disponível às plantas. Mas por se tratar de um solo que, em geral, se encontra em regiões de banhado, também apresenta muitas limitações quanto ao uso para a agricultura. Os demais solos apresentam melhores condições para o uso agrícola.

Apesar de serem solos rasos, quando se encontram em boas condições de manejo, possibilitando o crescimento adequado as raízes. Mesmo não sendo os solos mais adequados para fins de cultivos de grãos, em muitos casos esses solos são utilizados, pois apresentam uma profundidade próxima aos 50 cm. Na cultura do milho, a profundidade efetiva das raízes pode ser considerada variando entre 40 e 50 cm (ALBUQUERQUE; RESENDE, 2007), mas essa profundidade efetiva pode ser maior dependendo das condições do solo. Se adotarmos a profundidade atual do sistema radicular da soja em lavouras de baixa produtividade temos em torno de 50 cm de profundidade (PIVETTA et al., 2011).

Assim sendo, esses solos têm potencial para o desenvolvimento de culturas como o milho e a soja, desde que, tenham um bom manejo. Com essa profundidade eles podem fornecer água às plantas por 5 a 10 dias, como pode ser visto na tabela 25.

Tabela 25 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva rasa.

Unidade de Mapeamento	Disponibilidade Total de Água (mm)	Dias Supridos para a Soja (7,5mm/dia)	Dias Supridos para o Milho (7mm/dia)
Itapeva	59,77	8	8
Caxias	68,31	9	10
Pinheiro Machado	67,98	9	9
Ibaré	54,88	7	8
Lavras	41,18	5	6
Guaritas	50,92	7	7

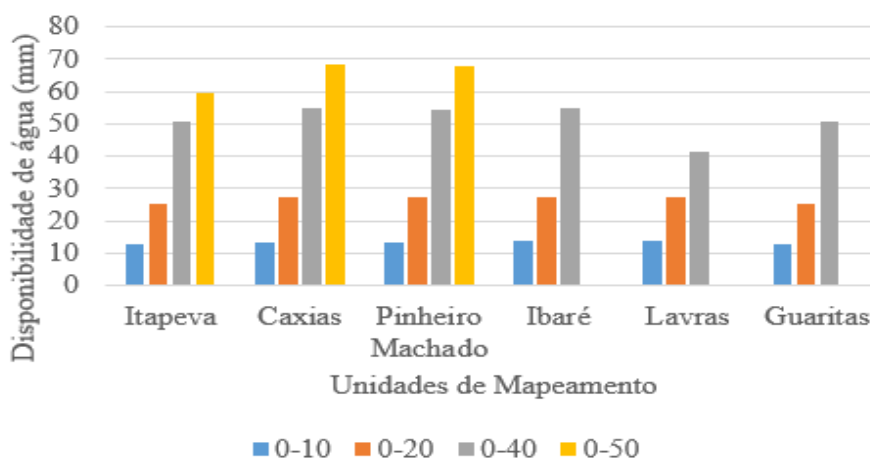
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a tabela 25, percebe-se que, apenas a unidade de mapeamento Lavras não consegue suprir a demanda de água pelo período mínimo de sete dias, tanto para a cultura da soja, quanto para a cultura do milho. Isso ocorre pelo fato do solo dessa unidade de mapeamento ser o mais raso, dentro os demais, tendo apenas 30 cm de profundidade, sendo que os demais possuem todos mais de 40 cm de profundidade. A unidade de mapeamento Caxias pode suprir a demanda de água por até nove dias para a cultura da soja e até 10 dias para a cultura do milho.

Para atingir esse período em que a planta não sofre como déficit hídrico intenso, o sistema radicular da planta necessita explorar o máximo de solo possível, atingindo as profundidades máximas em cada um desses perfis de solo. Dessa forma, o solo precisa fornecer boas condições para o crescimento radicular das plantas, sem impedimentos físicos como muita pedregosidade ou camadas compactadas ao longo do perfil de solo. O solo também não pode ter restrições químicas para o crescimento das raízes, como acidez por alumínio tóxico, dificultando o crescimento das raízes.

Essas restrições podem fazer com que as raízes se concentrem em uma camada de solo específica, diminuindo o espaço explorado por elas. Isso faz com que elas não consigam absorver a que está na camada mais profunda do solo, diminuindo a quantidade de água disponível às plantas (Figura 3).

Figura 3 - Relação da disponibilidade de água para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm e 0-50 cm para a profundidade efetiva rasa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a figura 3, se observa que, até os 10 cm de profundidade a quantidade de água disponível não chega a 14 mm, o que corresponde a menos de dois dias de água disponível

no solo. Até os 20 cm de profundidade a quantidade de água disponível não chega aos 30 mm em nenhum dos solos. Na camada de 0 a 40 cm de profundidade a quantidade de água disponível no solo fica entre 50 e 54 mm, o que é necessário para atender a cultura as culturas por um período entre 7 e 8 dias. Apenas as unidades de mapeamento Itapeva, Caxias e Pinheiro Machado atingem 50 cm de profundidade, podendo disponibilizar entre 60 e 68 mm de água, o que daria para suprir as culturas da soja e do milho entre 8 e 10 dias.

Mesmo com a pouca profundidade, esses solos, em casos de não haver outras áreas, podem ser utilizados para fins agrícolas, principalmente em casos de agricultores que possuem pouca área e produzem o alimento para o seu próprio consumo, porém eles necessitam de cuidados com o manejo e uma atenção especial quanto as práticas conservacionistas. São solos que precisam ser explorados em um todo para que consigam suprir às plantas com a água disponível, sem causar prejuízos significativos por estresse hídrico severo.

Para tal, eles não podem apresentar limitações ao aprofundamento do sistema radicular por problemas físicos e químicos. O problema físico mais comum é a compactação do solo, que segundo Piccinin et al. (2000 apud CARDOSO et al., 2006), acarretará em maior resistência mecânica oferecida ao desenvolvimento das raízes entre agregados e intra-agregados. A compactação em áreas agrícolas e em pastagens ocorre, geralmente, em uma camada encontrada até, no máximo, a 20 cm (REICHERT et al., 2007). Nesses casos, o volume de solo explorado será menor, limitando o acesso a água, diminuindo de 8 a 10 dias de água disponível em casos onde é todo o perfil do solo é explorado, para 4 a 5 dias onde é o solo é explorado até 30cm de profundidade.

Outros fatores que limitam o aprofundamento do sistema radicular são a alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes. A alta saturação de alumínio reduz o crescimento e desenvolvimento das raízes, diminuindo também a absorção de nutrientes. Nesses casos, o calcário é frequentemente utilizado com o intuito de reduzir a acidez do solo e promover a elevação do pH. No entanto, a sua capacidade corretiva não ultrapassa as camadas superficiais quando aplicado em superfície (MIGUEL et al., 2010). Sendo assim, o volume de solo explorado é menor, limitando o acesso a água, da mesma forma que acontece na compactação do solo. Esse problema pode ser minimizado através da incorporação do calcário, o que resulta na correção da acidez do solo ao longo do perfil, aumentando o crescimento e desenvolvimento das raízes ao longo desse perfil. Ainda, aliado a aplicação e incorporação de calcário, pode ser realizado em conjunto a correção quanto aos níveis nutricionais, o que também auxilia no aprofundamento do sistema radicular.

4.3 ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA A PROFUNDIDADE EFETIVA MODERADAMENTE PROFUNDA

A maior parte desses solos apresentam boas condições para cultivos agrícolas. Algumas classes com textura mais argilosa tendem a reter mais água, devido a maior concentração de microporos e maior superfície específica das partículas de argila, dessa forma esses solos tem a capacidade de reter grande quantidade de água. As classes com textura média e mais arenosa retêm menos água, contudo, por serem solos profundos, muitas vezes passando de 100 cm de profundidade tem também uma alta capacidade de armazenamento de água (Tabelas 26, 27 e 28).

Tabela 26 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 1).

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Classe Textural	Profundidade (cm)	Tipo de Solo ZARC	Quantidade de Água Armazenada (mm)
Vacaria	Latossolo	Argila	100	3	445,08
Ervail Grande	Latossolo	Argila	100	3	438,02
Durox	Latossolo	Muito argilosa	100	3	461,99
Erechim	Latossolo	Muito argilosa	100	3	472,48
Santo Ângelo	Latossolo	Muito argilosa	100	3	449,51
Passo Fundo	Latossolo	Argilo arenosa	100	3	402,05
Cruz Alta	Latossolo	Franco argilo arenosa	100	2	328,56
Estação	Latossolo	Argila	100	3	436,17
Cerrito	Latossolo	Franco argilo arenosa	100	2	344,04
São Borja	Nitossolo	Argilo siltosa	100	3	440,06
Vacacaí	Planossolo	Franco arenosa	100	1	260,72
São Gabriel	Planossolo	Franco argilo siltosa	100	3	407,33
Pelotas	Planossolo	Franca	80	2	261,91
Bagé	Planossolo	Franca	60	1	200,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 27 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade moderadamente profunda (Parte 2).

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Classe Textural	Profundidade (cm)	Tipo de Solo ZARC	Quantidade de Água Armazenada (mm)
Farroupilha	Cambissolo	Argila	100	3	419,93
Bom Jesus	Cambissolo	Argila	100	3	433,64
Rocinha	Cambissolo	Franca	100	2	364,07
Durasnal	Plintossolo	Franco siltosa	100	2	383,74
Mangueira	Gleissolo	Franca	100	2	448,24
Colégio	Gleissolo	Argila	100	3	357,42
Ciriaco	Chernossolo	Franca	90	2	306,85
Vila	Chernossolo	Franco argilo siltosa	100	3	368,67
Seival	Chernossolo	Franco argilosa	100	2	410,54
Venda Grande	Chernossolo	Franco arenosa	100	2	279,32
Uruguaiana	Chernossolo	Franco siltosa	100	2	372,37
Ponche Verde	Chernossolo	Argilo siltosa	100	3	406,94
Formiga	Chernossolo	Franco arenosa	100	1	325,55
Cambaí	Luvissolo	Franca	100	2	324,97
Bexigoso	Luvissolo	Franca	90	2	354,62
Carajá	Luvissolo	Franco argilo arenosa	100	2	315,28
Caldeirão	Luvissolo	Franco arenosa	100	2	338,10
Piraí	Luvissolo	Franco argilosa	100	3	319,47
Virginia	Luvissolo	Franco arenosa	100	1	343,51
Escobar	Vertissolo	Argilo siltosa	100	3	436,21
Aceguá	Vertissolo	Argila	100	3	439,04
Osório	Neossolo	Areia	100	Sem aptidão	231,36
Lagoa	Quartzarenico Neossolo Quartzarenico	Areia franca	100	Sem aptidão	246,69

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 28 - Quantidade de água armazenada no solo e o tipo de solo de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 3).

Unidade de Mapeamento	SiBCS	Classe Textural	Profundidade (cm)	Tipo de Solo ZARC	Quantidade de Água Armazenada (mm)
Bom Retiro	Argissolo	Areia franca	100	Sem aptidão	265,07
Tuia	Argissolo	Franco arenosa	100	Sem aptidão	130,11
Itapoã	Argissolo	Areia Franca	100	Sem aptidão	214,54
Santa Clara	Argissolo	Franco arenosa	100	Sem aptidão	233,37
Vera Cruz	Argissolo	Franco siltosa	100	2	337,47
São Pedro	Argissolo	Franco arenosa	100	2	295,81
Tupanciretã	Argissolo	Areia franca	100	1	284,66
Gravataí	Argissolo	Franco arenosa	100	2	347,58
Camaquã	Argissolo	Franco arenosa	100	1	337,05
Julio de Castilhos	Argissolo	Franco argilosa	100	3	412,24
Oasis	Argissolo	Franco argilo siltosa	100	3	412,92
Rio Pardo	Argissolo	Franco argilo arenosa	100	2	359,60
São Jerônimo	Argissolo	Franco argilo arenosa	100	2	388,02
Alto das Canas	Argissolo	Franco argilo arenosa	100		358,91
Santa Tecla	Argissolo	Franco arenosa	100	1	317,06
Pituba	Argissolo	Franco argilosa	100	2	425,97
Matarazo	Argissolo	Franco arenosa	100	2	438,46
Carlos Barbosa	Argissolo	Franco argilosa	100	2	398,99
Santa Maria	Argissolo	Franco arenosa	100	1	284,59
Tala	Argissolo	Areia franca	100	Sem aptidão	276,77
Livramento	Argissolo	Areia Franca	100	Sem Aptidão	315,20
Ramos	Argissolo	Franca	100	2	321,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as tabelas 26, 27 e 28, se percebe que, as unidades de mapeamento Pelotas, Bagé, Ciriaco e Bexigoso não atingem a profundidade de 100 cm. As unidades de mapeamento Osório, Lagoa, Bom Retiro, Tuia, Itapoã e Santa Clara não possuem aptidão agrícola, pois têm teor de areia superior a 90 %.

Os solos do tipo 3, tem textura mais argilosa, tendo mais que 35 % de argila, alguns com até mais de 70 % de argila. Devido a essa alta quantidade de argila, estrutura e porosidade, com a presença maior de microporos, esses solos possuem elevada capacidade de retenção de água, consequentemente armazenam maior quantidade de água. Isso fica mais evidente analisando a classe dos latossolos, em que os latossolos com textura mais argilosa possuem maior capacidade de armazenamento de água do que os latossolos mais arenosos de Cruz Alta e Cerrito.

Os solos com textura média, os do tipo 2, mesmo tendo concentração menor da fração argila, apresentam boa capacidade de retenção e armazenamento de água, pois são solos profundos. Já os solos do tipo 1, por terem maior quantidade de areia em seu perfil, tem uma quantidade maior de macroporos, e uma estrutura mais fraca, tem menor capacidade de reter e armazenar água.

Os solos sem aptidão agrícola, mesmo com profundidade as vezes superior a 100 cm, como no caso de Osório, que tem mais de 90 % de areia. Esses solos devido a sua textura, fornecem um ótimo ambiente para o crescimento radicular das plantas, sem impedimentos físicos, também conseguem armazenar uma boa quantidade de água. Contudo, essa água armazenada é facilmente perdida por evaporação e drenagem, tornando esses solos bastante suscetíveis a problemas causados por estresse hídrico.

Devido a sua profundidade, textura, capacidade de armazenamento de água, entre outros atributos, a maior parte desses solos têm um grande potencial para o cultivo de milho e soja. Esses solos conseguem atender a demanda hídrica dessas culturas por vários dias, desde que bem manejados (Tabelas 29, 30 e 31).

Tabela 29 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 1).

Unidade de Mapeamento	Disponibilidade Total de Água (mm)	Dias Supridos para a Soja (7,5mm/dia)	Dias Supridos para o Milho (7mm/dia)
Vacaria	129,03	17	18
Erval Grande	130,27	17	18
Durox	126,19	16	18
Erechim	124,04	16	17
Santo Ângelo	128,43	17	18
Passo Fundo	134,75	18	19
Cruz Alta	136,80	18	19
Estação	130,55	17	18
Cerrito	136,83	18	19
São Borja	129,69	17	18
Vacacaí	124,30	16	17
São Gabriel	133,69	18	19
Pelotas	108,38	14	15
Bagé	80,15	10	11
Farroupilha	132,76	17	18
Bom Jesus	130,97	17	18
Rocinha	135,81	18	19
Durasnal	134,32	18	19
Mangueira	154,42	20	22
Colégio	136,50	18	19
Ciriaco	122,46	16	17
Vila	137,02	18	19
Seival	132,32	17	18
Venda Grande	130,17	17	18
Uruguaiana	136,12	18	19
Ponche Verde	134,15	17	18
Formiga	135,52	18	19

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 30 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 2).

Unidade de Mapeamento	Disponibilidade Total de Água (mm)	Dias Supridos para a Soja (7,5mm/dia)	Dias Supridos para o Milho (7mm/dia)
Cambaí	135,71	18	19
Bexigoso	135,50	18	19
Carajá	131,82	17	18
Caldeirão	134,92	18	19
Piraí	128,11	17	18
Virginia	131,55	17	18
Escobar	130,59	17	18
Aceguá	130,06	17	18
Osório	123,55	16	17
Lagoa	126,19	16	17
Bom Retiro	127,34	17	18
Tuia	88,13	11	12
Itapoã	119,43	15	16
Santa Clara	124,07	16	17
Vera Cruz	136,51	18	19
São Pedro	133,25	17	18
Tupanciretã	132,75	17	18
Gravataí	136,64	18	19
Camaquã	133,86	17	18
Julio de Castilhos	133,16	17	18
Oasis	132,98	17	18
Rio Pardo	136,89	18	19
São Jerônimo	135,71	18	19
Alto das Canas	135,93	18	19
Santa Tecla	133,83	17	18
Pituba	138,74	18	19
Matarazo	147,62	19	21

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 31 - Disponibilidade total de água e dias supridos com água para a cultura do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*) para as unidades de mapeamento com profundidade efetiva moderadamente profunda (Parte 3).

Unidade de Mapeamento	Disponibilidade Total de Água (mm)	Dias Supridos para a Soja (7,5mm/dia)	Dias Supridos para o Milho (7mm/dia)
Carlos Barbosa	134,08	18	19
Santa Maria	132,52	17	18
Tala	130,22	17	18
Livramento	132,10	17	18
Ramos	135,68	18	19

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas tabelas 29, 30 e 31 se percebe que, as unidades de mapeamento Osório, Lagoa, Bom Retiro, Tuia, Itapoã e Santa Clara mesmo não tendo aptidão agrícola, possuem disponibilidade de água no solo similar as demais unidades de mapeamento. Isso se deve ao fato desses solos possuírem uma profundidade de no mínimo 100 cm, dessa forma, eles conseguem disponibilizar essa quantidade similar de água dos demais perfis de solo. Contudo, a água desses solos é perdida mais rapidamente, devido à grande quantidade de macroporos, o que facilita a evaporação e drenagem dessa água, diminuindo os dias em que a planta não sofrerá por estresse hídrico severo.

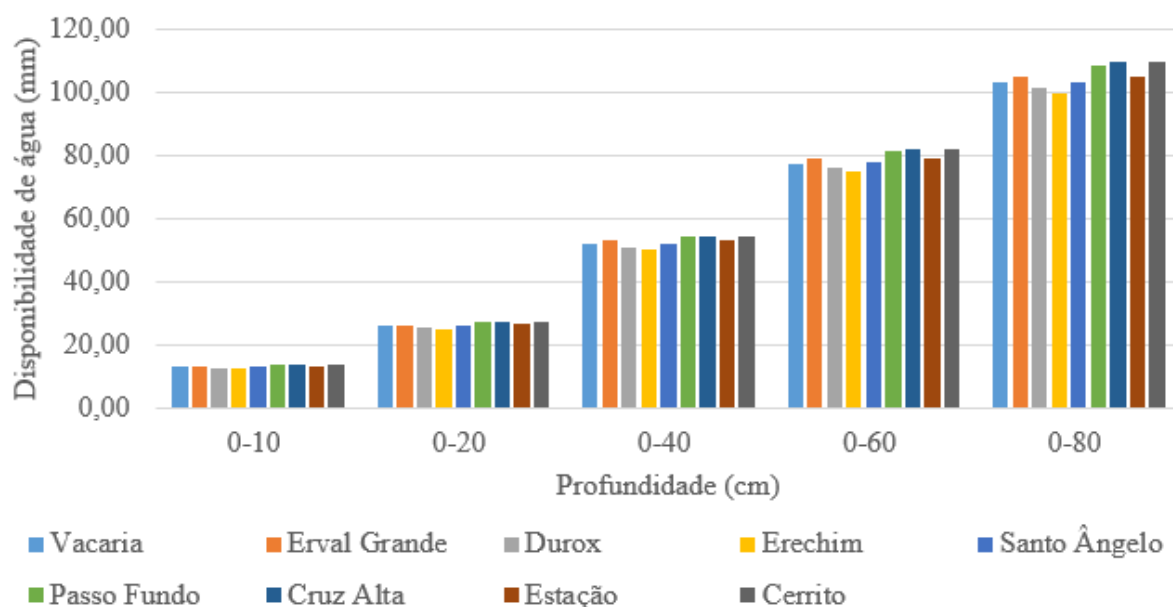
Praticamente todos os solos tem capacidade de disponibilizar mais de 100 mm de água, exceto os solos das unidades de mapeamento Tuia e Bagé. Devido a isso, esses solos não conseguem fornecer água disponível às plantas por um período superior a 11 dias para a cultura da soja e 12 dias para o milho. Os demais solos têm capacidade para disponibilizar água por um período de no mínimo 14 dias para a soja e 15 dias para o milho. Para se atingir essas quantidades de água disponível no solo, é necessário um bom manejo do sistema de produção, pois o sistema radicular efetivo dessas plantas necessita atingir uma profundidade maior que 90 cm.

Para a cultura da soja que, em geral, atinge 40 a 50 cm de profundidade efetiva das raízes em áreas de baixa a média produtividade, esses números ficam difíceis de serem alcançados. Porém em lavouras de alta produtividade, onde se constrói um sistema de manejo, adotando o sistema plantio direto em conjunto com práticas conservacionistas, o sistema radicular pode atingir entre 1 e 1,5 m, como observado nas áreas campeãs de produtividade do Comitê

Estratégico Soja Brasil (BATTISTI et al., 2016). Dessa forma às plantas teriam maior quantidade de água disponível, suportando entre 14 e 19 dias de estiagem.

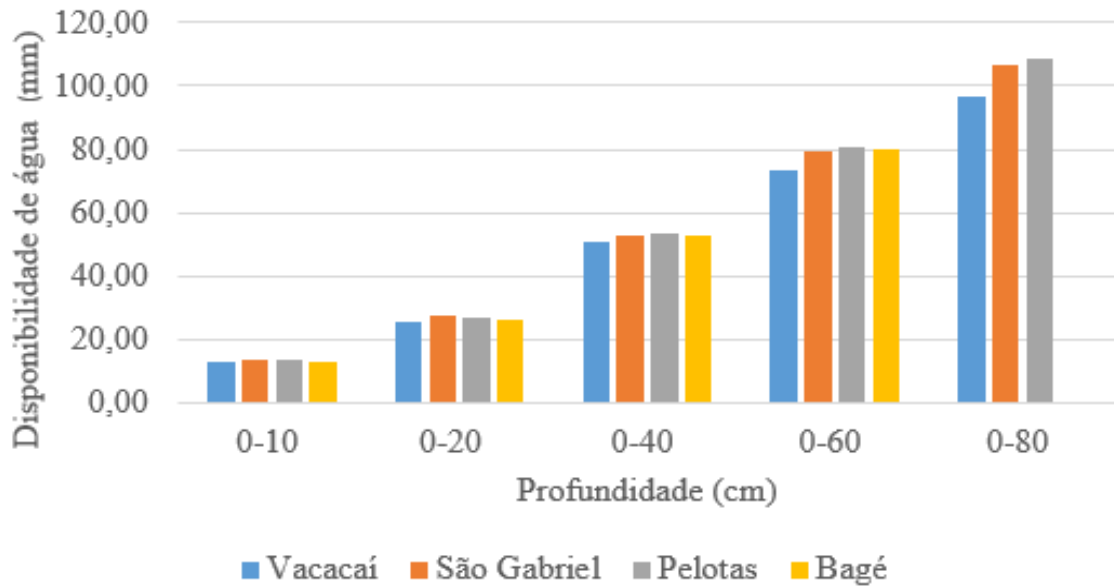
Entretanto, inúmeras lavouras espalhadas pelo estado do Rio Grande do Sul não conseguem atingir tais profundidades, pois apresentam algumas limitações para o crescimento radicular das plantas. Dentre essas limitações, as principais são a compactação do solo, alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes. Dessa forma, as raízes se concentram em uma profundidade menor, e a disponibilidade de água às plantas é reduzida para cada tipo de solo, como pode ser visto nas figuras a seguir.

Figura 4 - Relação da disponibilidade de água em Latossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



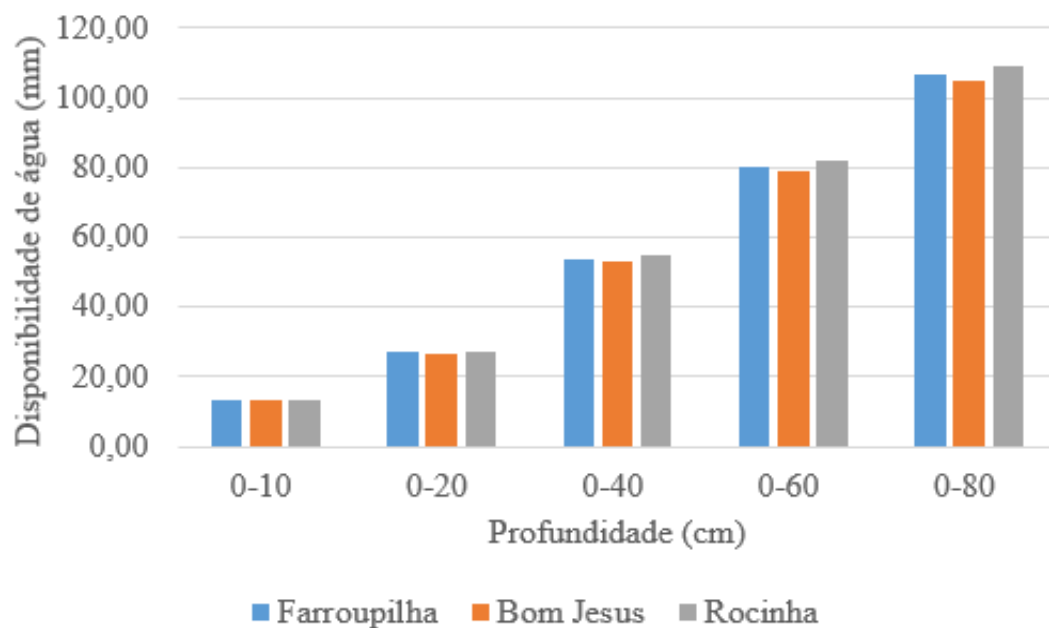
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - - Relação da disponibilidade de água em Planossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



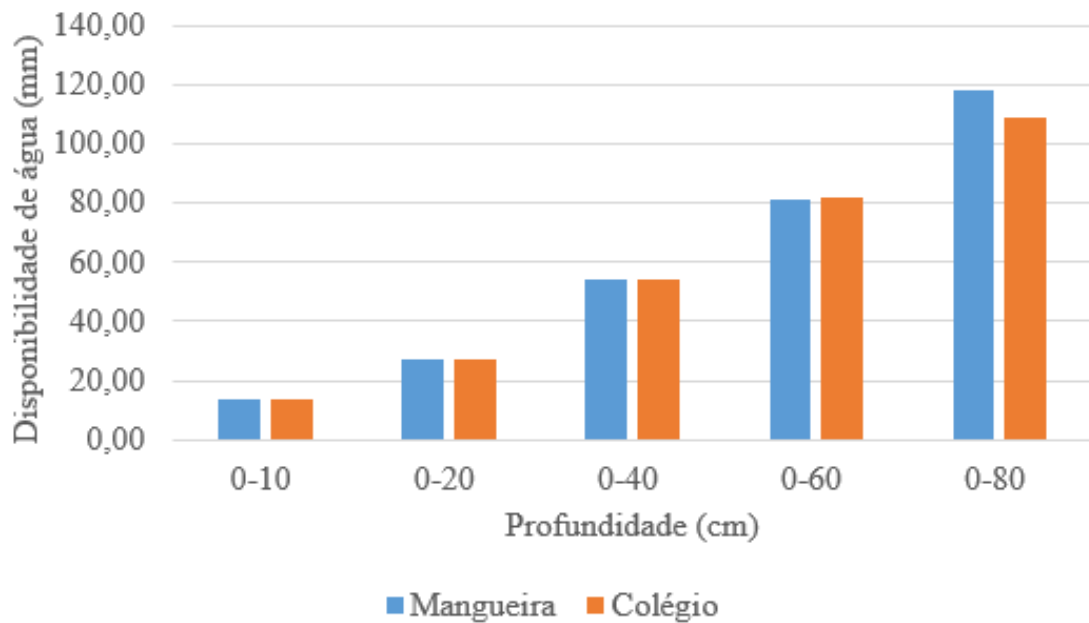
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Relação da disponibilidade de água em Cambissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



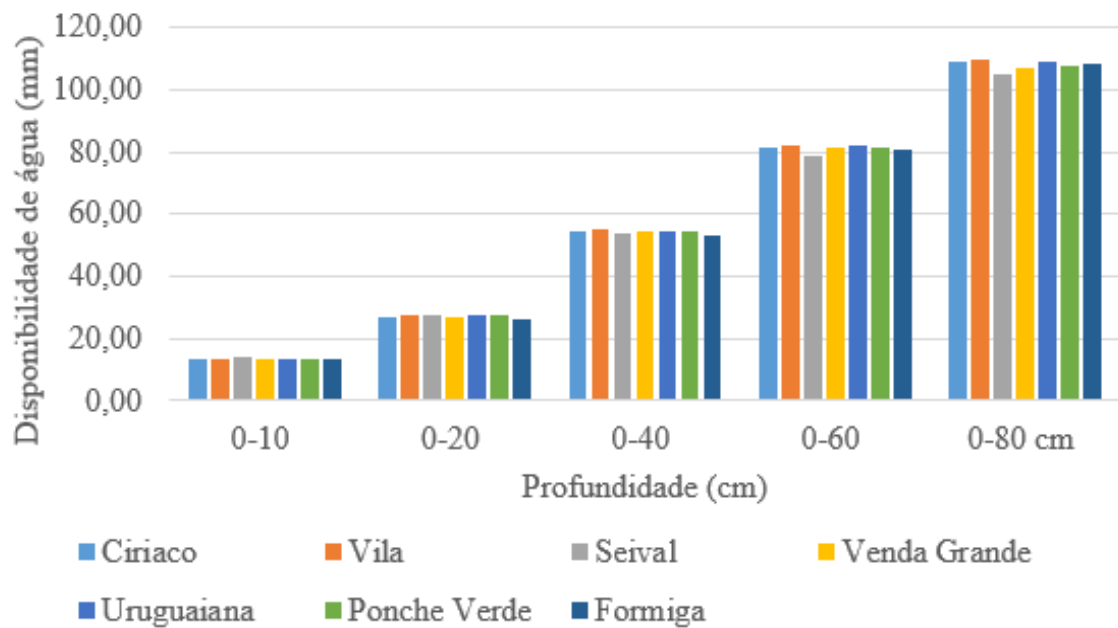
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 - Relação da disponibilidade de água em Gleissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



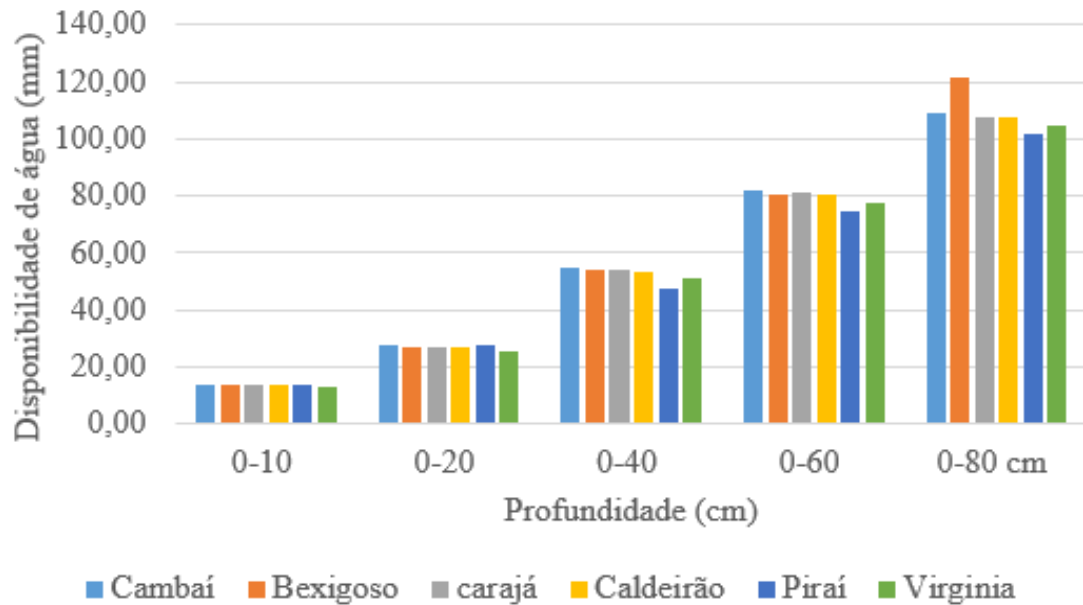
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Relação da disponibilidade de água em Chernossolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



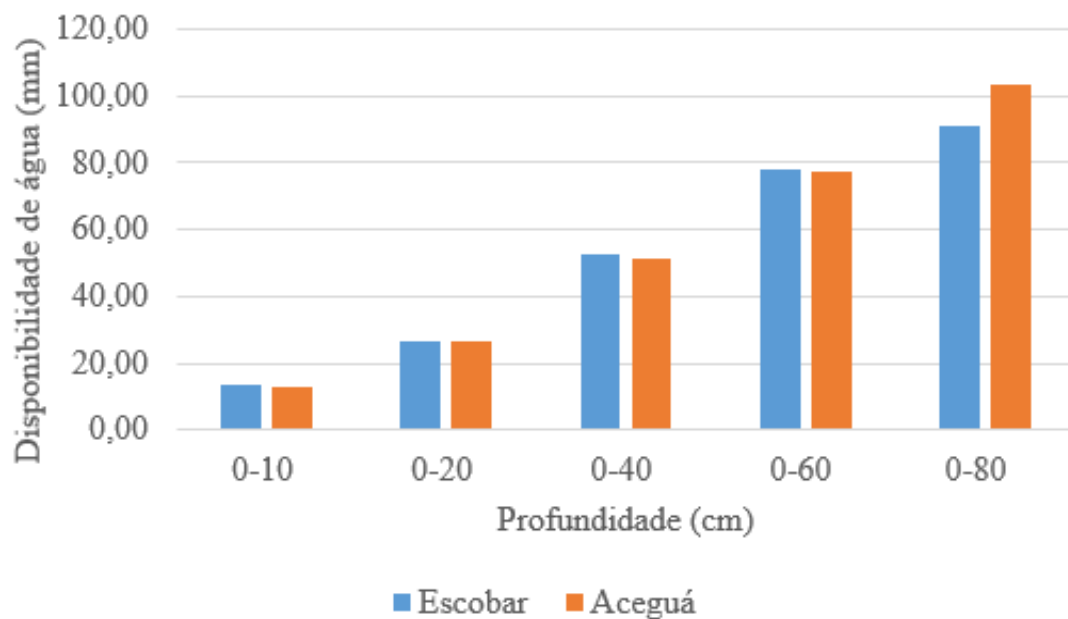
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Relação da disponibilidade de água em Luvisolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



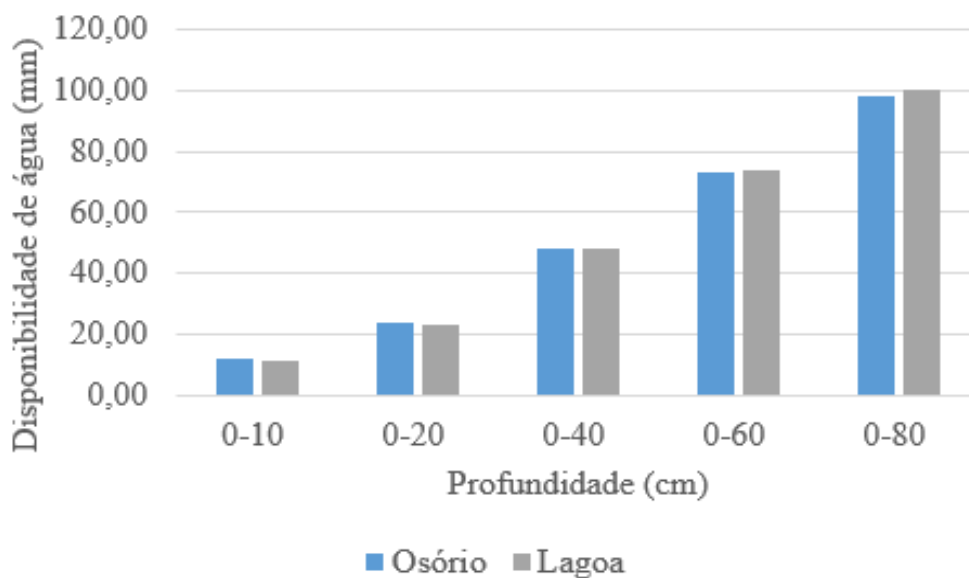
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - Relação da disponibilidade de água em Vertissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



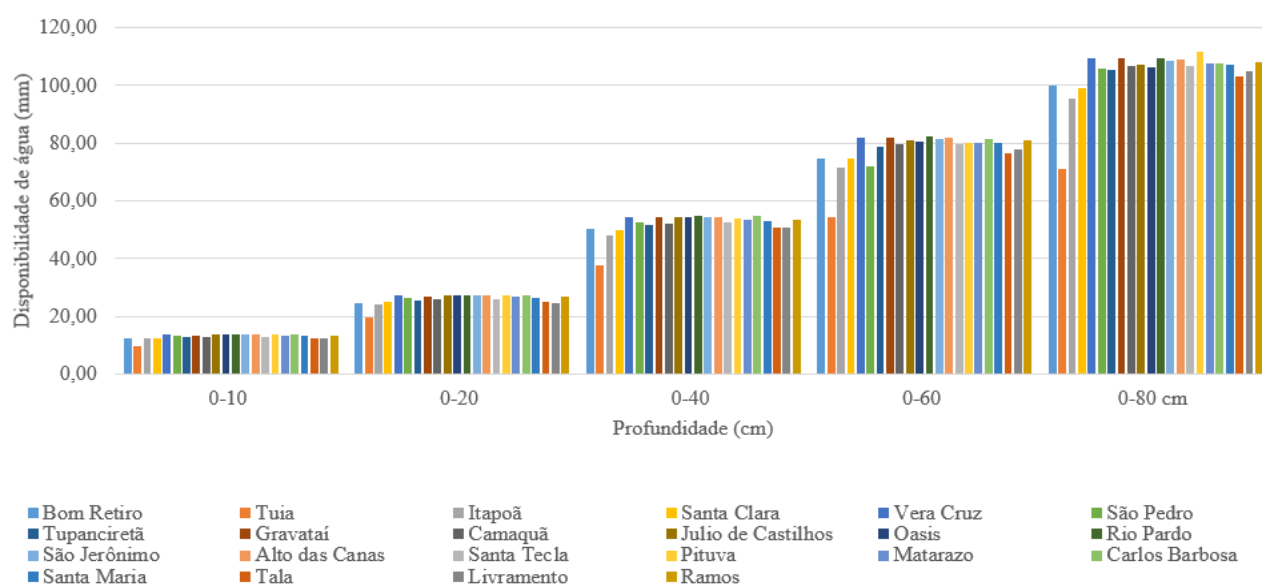
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Relação da disponibilidade de água em Neossolos Quartzarênicos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Relação da disponibilidade de água em Argissolos para as profundidades de 0-10 cm, 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm e 0-80 cm para as profundidades efetiva moderadamente profunda.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as figuras percebe-se que a disponibilidade de água nas diferentes camadas, é muito semelhante entre os perfis de solo, exceto na unidade de mapeamento Tuia, onde a disponibilidade de água é menor, mesmo atingindo a profundidade de 100 cm. Até os 10 cm de profundidade a quantidade de água armazenada não chega aos 20 mm de reserva para as culturas, o que corresponde a um consumo hídrico sob alta demanda de 2 a 3 dias. Na camada de 0 a 20 cm de profundidade, a reserva é em torno de 20 a 30 mm, suprimindo entre 3 a 4 dias as culturas de soja e milho. Na camada de 0 a 40 cm a disponibilidade de água gira em torno de 45 a 57 mm, garantindo água às plantas pelo período de 7 a 8 dias. Na camada de 0 a 60 cm de profundidade a reserva de água fica entre 70 e 81 mm, o que corresponde a um consumo hídrico sob alta demanda de 9 a 11 dias. Por fim, na camada de 0 a 80 cm de profundidade têm-se uma grande reserva de água, entre 90 e 108 mm, correspondendo a um consumo sob alta demanda de 12 a 14 dias.

Isso mostra que é importante ter um bom manejo dos solos, proporcionando boas condições para o aprofundamento do sistema radicular para que assim, as raízes consigam absorver água e nutrientes que se concentram nas camadas mais profundas do solo. Os latossolos, por exemplo, apresentam uma elevada profundidade efetiva, mas se houver limitações ao aprofundamento do sistema radicular por problemas físicos ou químicos, esses solos serão pouco explorados pelo sistema radicular, limitando muito o acesso à água.

Dentre as limitações físicas, o problema mais comum nesses tipos de solos, é a compactação do solo. A principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo, semeadura, tratos culturais e colheita (REICHERT et al., 2003). Ela ocorre, geralmente, em uma camada encontrada até, no máximo, a 20 cm (REICHERT et al., 2007). Nesses casos o aprofundamento do sistema radicular é dificultado, que segundo Piccinin et al. (2000 apud CARDOSO et al., 2006), a compactação superficial acarretará em maior resistência mecânica oferecida ao desenvolvimento das raízes entre agregados e intra-agregados. Além disso, com a compactação, diminuem os espaços livres do solo e, conseqüentemente, a quantidade de O_2 na rizosfera, podendo ser limitante para o desempenho dos processos metabólicos das plantas (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

Braga et al. (2009), verificaram que, a partir do aumento da densidade do solo (D_s) observa-se uma diminuição linear das raízes de soja, onde para cada aumento de $0,1 \text{ g dm}^{-3}$ de D_s o crescimento de raízes diminui 8,733%. Carneiro et al. (2018) encontraram resultados que sugerem que a compactação do solo reduz a matéria seca foliar do milho, independente da profundidade da camada. Ainda, segundo o autor, ao ocorrer na camada superficial o problema

é potencializado, devido à baixa disponibilidade de água e nutrientes para o estabelecimento da planta. Foloni et al. (2003) verificaram que o efeito da compactação resultou na redução do crescimento aéreo das plantas de milho, em média, aproximadamente 20%, após 40 dias de cultivo sob $1,69 \text{ Mg m}^{-3}$ de impedância mecânica do solo em subsuperfície. Silva et al (2014) observaram para a cultura da soja que houve aumento na MSR na camada superior conforme o grau de compactação, indicando que houve restrição de crescimento em profundidade e as raízes não se aprofundaram.

Outro fator limitante ao crescimento radicular é a alta saturação por alumínio (Al). A presença do Al reduz o crescimento e desenvolvimento das raízes e diminui a absorção de nutrientes, o que é desfavorável para o desenvolvimento de plantas sensíveis a esse elemento (MIGUEL et al., 2010). Em alguns solos esse problema se evidencia mais, como é o caso dos latossolos, que naturalmente são ácidos, que devido ao alto grau de intemperismo apresentam mais argila em seu perfil e o solo possui tanto mais alumínio quanto maior for o teor de argila caolinítica, uma vez que o alumínio é parte integrante e predominante dessa argila mineral 1:1¹⁰ (RONQUIM, 2010). Além disso, em solos com pH excessivamente baixo ocorre a diminuição na disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio (BRASIL, 1998).

Alves et al. (2002), verificou que algumas linhagens de milho sensíveis ao alumínio, tiveram redução no crescimento do sistema radicular de 65 a 74%, em relação a testemunha sem alumínio. De acordo com TABALDI et al., (2007 apud COSTA et al., 2014), em virtude da redução do crescimento das raízes e da absorção, transporte e uso de alguns nutrientes, plantas quando expostas à toxidez de alumínio apresentam diminuição da produção de biomassa.

Em áreas agrícolas, esse problema não se evidencia na camada superficial, pois é aplicado calcário agrícola, em geral em superfície para corrigir a acidez do solo. No entanto, a sua capacidade corretiva não ultrapassa as camadas superficiais, o que impossibilita o crescimento normal do sistema radicular dos vegetais, que precisam de um maior volume de solo para explorar, principalmente em profundidade, a fim de garantir a absorção de nutrientes e água (MIGUEL et al., 2010). Além disso, a redução na saturação de Al ao longo do perfil do solo, com a calagem, necessita de muito tempo, devido à baixa solubilidade do calcário (AMARAL et al., 2004).

A partir disso, fica evidente a necessidade de se fornecer boas condições ao aprofundamento radicular, a fim de aumentar a quantidade de nutrientes e água disponível.

Segundo os dados de disponibilidade de água das figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, adotando o crescimento radicular efetivo até os 40 cm a soja e o milho, em lavouras de média produtividade e com impedimentos ao aprofundamento do sistema radicular teriam de reserva entre 48 e 55 mm de reserva, valor que corresponde a um consumo hídrico sob alta demanda de 6 a 8 dias, ou seja, período em que a planta não sofreria com déficit hídrico intenso. Já em casos de solos onde não há problemas de compactação e com um crescimento radicular efetivo de 80 cm, o que ocorre em lavouras de alto potencial produtivo, teríamos um total de 100 a 108 mm de água disponível para as culturas, o que levaria elas a tolerar de 12 a 14 dias de estiagem com boa reserva de água no solo. Sendo assim, quanto maior for a profundidade efetiva do sistema radicular, maior será a disponibilidade hídrica para a cultura, aumentando a reserva de água para períodos de estiagem (BATTISTI et al., 2016).

Esses dados demonstram o quão importante é dar a devida atenção para as qualidades físicas e químicas dos solos para que as raízes consigam crescer livremente atingindo maiores profundidades de onde conseguirão absorver água e nutrientes. Com isso, diminui-se problemas causados pelos períodos sem chuva, os “veranicos”, que são comuns no estado do Rio Grande do Sul.

5 CONCLUSÕES

Os solos com profundidade efetiva muito rasa apresentam baixa capacidade de armazenamento de água, sendo que, em nenhum desses solos a quantidade de água armazenada atinge os 70 mm. Além disso, esses solos têm capacidade para suprir a demanda diária das culturas da soja e do milho por até 3 dias, exceto na unidade de mapeamento Guassupi, em que a cultura do milho terá água por até 4 dias.

Entre os solos com profundidade efetiva rasa, as unidades de mapeamento Itapeva, Caxias e Pinheiro Machado apresentaram maior disponibilidade de água às plantas, suprimindo a necessidade diária de água das culturas do milho e da soja por um período mínimo de 8 dias e máximo de 10 dias.

Os solos da classe moderadamente profunda apresentam capacidade de armazenamento de água no solo entre 130,11 mm (Tuia) e 472,48 mm (Erechim). A maior parte desses solos tem condições para suprir a demanda diária da cultura da soja por um período de 15 a 17 dias e 17 a 19 dias para a cultura do milho, exceto as unidades de mapeamento Bagé (10 dias para a cultura da soja e 11 dias para a cultura do milho) e Tuia (11 dias para a cultura da soja e 12 dias para a cultura do milho).

Oferecer condições para que o crescimento e aprofundamento do sistema radicular efetivo das plantas ultrapasse os 60 cm aumenta consideravelmente os dias em que a planta não sofrerá com déficit hídrico intenso.

Evitar que se tenha camadas compactadas nos solos agrícolas, assim como a alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes ao longo do perfil melhora o ambiente para o crescimento e aprofundamento do sistema radicular das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M.; **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo; Sistemas de Produção 2. Ed. 3, set. 2007.
- ALVES, V.M.C. et al. **Inibição do crescimento de raiz pelo alumínio e toxidez por prótons em milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG. 2002.
- AMARAL, A.S. et al.; Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 359-367, 2004.
- BATTISTI, R. et al.; **Incremento da produtividade da soja: Redução do déficit hídrico associado à melhor distribuição e profundidade do sistema radicular**. XXXV Reunião de Pesquisa de Soja. Circular técnica. Nov. 2016. Disponível em:
<<http://www.cesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2016/11/Circular-Tecnica-1.pdf>> Acesso em 01 nov. 2019.
- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, v.1, p.23-27, 2001.
- BEUTLER, A.N. et al.; Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 829-834, 2002.
- BRAGA, L.M.; **Crescimento de raízes de soja MG/BR conquista em Latossolo submetido a níveis de compactação**. IV Encontro de Jovens Talentos da Embrapa Cerrados: Resumos Apresentados. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, pg. 118-119, 2009.
- BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Boletim Técnico Nº 30. Recife, 1973.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina, 1998. 44p.
- BUDIMAN, M. et al. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 45: 1517-2627, set. 2003.
- CARDOSO, E.G. et al.; Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, pg. 493-501, mar. 2006.
- CARNEIRO, K.A.A. et al.; Influência da compactação do solo no crescimento de milho (*Zea mays* L.) em latossolo vermelho-amarelo. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.4, pg. 88-98, Out-Dez. 2018.
- COSTA, D.P. et al.; **O estresse por alumínio afeta o crescimento a acumulo de NPK em plantas de Cambre?** Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.10, n.19; pg. 1359, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Estudo destaca importância agronômica da profundidade efetiva do solo.** Brasília, DF, Embrapa Meio Ambiente, 2017. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/20796250/estudo-destaca-importancia-agronomica-da-profundidade-efetiva-do-solo>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC.** Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 1995. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3933/zoneamento-agricola-de-risco-climatico---zarc>>. Acesso em 09 dez. 2019.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. & IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:885-893, 2002.

KLEIN, V.A. **Física do solo.** Livro, Passo Fundo: Edi upf, 2012.

LEPSCH, I.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** Viçosa, 2015, 170 p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba, EDUSP, 2005, 335 p.

LIER, Q.J. **Física do solo.** Livro, Viçosa: Edi ufv, 2016.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F.; **Irrigação – Princípios e Métodos.** Livro, 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Portarias.** Brasília, DF. Dez. 2016. Disponível em:

< <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias>> Acesso em: 09 dez. 2019.

MELLO, F.A.F. et al. **Efeitos da matéria orgânica sobre a capacidade de retenção de umidade de quatro solos do município de Piracicaba.** Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, São Paulo, v. 25, 1978.

MICHELON, C.J. et al. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.

MICHELON, C.J. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão.** 2010. 111f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MIGUEL, P.S.B et al.; Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Revista CES**, Juiz de Fora - MG, v. 24, 2010.

MINASNY, B. et al.; **Revisão sobre Funções de Pedotransferência (PTFs) e Novos Métodos de Predição de Classes e Atributos do Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Set. 2003. 50 p.

NASCIMENTO, G.B. et al. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Pernambuco, v. 5, n. 4, p. 560-569, 2010.

NEBEL, A.L.C. **Funções de pedotransferência e estrutura de variabilidade espacial da retenção de água em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 2009. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

NUNES, J.L.S.; **Irrigação**. Agrolink, 2016. Disponível em:

https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/irrigacao_361518.html. Acesso em: 05 nov. 2019.

OLIVEIRA, L.B. et al. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002.

PERAZA, J.E.S. et al., **Equações de pedotransferência para estimativa do ponto de murcha permanente (pmp) em solos do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS. Disponível em:

http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Resumos/XIVRBMCSA_6.pdf. Acesso em: 25 jun. 2019.

PEREIRA, L.C.; GOMES, M.A.F. **Profundidade efetiva e profundidade do solo: conceitos e importância**. 2007. Disponível em:

<<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?id=33953&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

PETRY, M.T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

PETRY, M.T. et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 531-539, 2007.

PIVETTA, L.A et al.; Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1547-1554, 2011.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B. et al.; Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:929- 938, 2000.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Livro, São Paulo: ed. 2, 2012.

REICHERT, J.M. et al. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Qualidades dos Solos e Sustentabilidade Agrícola. Ciência & Ambiente, jul/dez 2003.

- REICHERT, J.M. et al. **Compactação do solo em sistemas agropecuários em florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** Tópicos em Ciência do solo. Pg. 49-134, 2007.
- REICHERT, J.M. et al. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 102, p. 242-254, 2009.
- REICHERT, J.M. et al. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul(1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1547-1560, 2009.
- REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo.** Centro de Ciências Rurais. Mai. 2006.
- RIQUELME, U.F.B. **Propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de manejo do feijoeiro.** 2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2004.
- RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas-SP, nov. 2010.
- SILVA, F. R. et al.; Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira Ciências Solo.** Viçosa-MG, v. 38, n. 1, p. 1731-1739, 2014.
- ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil.** 2002. 147f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- SALVESTRO, A.C; BRANDÃO, D.; FREITAS, P.S.L. **Determinação do ponto de murcha permanente do feijoeiro cultivado em nitossolo vermelho distroférico e latossolo vermelho.** VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá, 2011.
- STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Livro, Porto Alegre: ed. 3, 2018.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science of Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 327-338, 2000.