

MANEJO DE ÁGUA NO SOLO PARA IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS NA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ

Celso Helbel Junior

Jonez Fidalski

Edson Luiz Diogo de Almeida



3ª Edição revisada e ampliada

Curitiba

Setembro – 2020

Autores

Celso Helbel Junior – Pesquisador da Área de Engenharia Agrícola e Tecnologias Digitais. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná). Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, CEP 86047-902, Londrina - PR. E-mail: celso@idr.pr.gov.br

Jonez Fidalski – Pesquisador da Área de Solos. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná). Rua Amador Aguiar, s/n, ao lado do DER, Jardim Ipê, Caixa Postal 564, CEP 87701-970, Paranavaí - PR. E-mail: fidalski@idr.pr.gov.br

Edson Luiz Diogo de Almeida – Gerente Regional - Região de Maringá. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná). Av. Cerro Azul, 268, CEP 77013-000, Maringá - PR. E-mail: edsonalmeida@idr.pr.gov.br

Sumário

Resumo	4
Palavras-chave	4
Introdução	4
Conteúdo e lâmina de água no solo ($m^3 m^{-3}$, % e mm)	5
Capacidade de água disponível – CAD	7
CrITÉrios para irrigação de pastagens	11
Monitoramento das tensões crÍticas com tensiômetros	14
Quantidade e profundidade de tensiômetros	18
Preparação do equipamento e instalação no campo	18
Local para instalação de tensiômetros em uma pastagem	20
Aquisição do equipamento	20
Estimativas da lâmina e tempo de irrigação utilizando a tensiometria	21
Considerações finais	22
Agradecimentos	24
Referências	24

Resumo

Uma das limitações técnicas para o manejo da irrigação em pastagens irrigadas era obter o conteúdo de água disponível (CAD) para solos da Região Noroeste do Estado do Paraná. Objetivou-se, a partir de duas publicações, gerar tabelas com valores do CAD e tensões de água correspondentes a 50% da CAD necessária para iniciar a irrigação em pastagens, em função dos teores de areia total, além de orientações técnicas para o manejo da irrigação baseadas em critérios técnicos debatidos em eventos técnicos regionais. Tais parâmetros técnicos sobre o CAD foram gerados em 11 pastagens irrigadas em 2016, e o monitoramento das tensões da água no solo por meio da tensiometria foi realizado em uma propriedade rural durante 274 dias entre 2018 e 2019. As tabelas com valores do CAD e das tensões da água no solo correspondentes a 50% do CAD possibilitam estimar esses valores em função do teor de areia total entre 550 a 910 g kg⁻¹ de areia total para solos da Região Noroeste do Estado do Paraná. Recomenda-se que, a partir do momento em que a umidade do solo diminuir até essa tensão registrada em tensiômetros, o produtor rural ligue o sistema de irrigação para repor a lâmina de água acima desse valor crítico para as pastagens.

Palavras-chave: Teor de areia. Arenito Caiuá. Capacidade de água disponível. Curva de retenção de água. Irrigação por aspersão.

Introdução

Os solos da Região do Noroeste do Paraná são constituídos com predominância de areia (Embrapa, 1988) e ocupados principalmente por pastagens (Kronen, 1990). As retenções de água desses solos dependem do teor de areia, seja em escala regional, de uma propriedade agrícola, de determinada classe ou tipo de solo (Silva et al., 2011; Fidalski et al., 2013).

Os agentes da assistência técnica que orientavam o manejo da irrigação de pastagens para o gado leiteiro precisavam de informações técnicas sobre o conteúdo de água disponível (CAD), que dependem das determinações das curvas de retenções realizadas em laboratórios de física de solos.

Assim, em 2016, foi realizada a coleta de amostras de solo em 11 áreas irrigadas dessa região, possibilitando a obtenção das curvas de retenções e dos CAD em função dos teores de areia total entre 550 a 910 g kg⁻¹ (Fidalski e Helbel Junior, 2020).

Posteriormente, entre 2018 e 2019, foi realizado o acompanhamento em uma propriedade rural das leituras das tensões de água no solo por meio de tensiômetros, em uma pastagem para gado leiteiro, com o critério de iniciar a irrigação quando houver o consumo de 50% da CAD do solo (Helbel Junior e Fidalski, 2019). Já no período de 2016 a 2020 foram realizados eventos técnicos para a divulgação desses resultados. Os questionamentos que ocorreram nesses eventos foram utilizados para orientar o manejo da irrigação em pastagens desta publicação.

Assim, objetivou-se, a partir de duas publicações, gerar tabelas com valores do CAD e as tensões da água correspondentes a 50% da CAD recomendada para iniciar a irrigação em pastagens, em função dos teores de areia total; além de orientações técnicas para o manejo da irrigação baseadas nos critérios debatidos em eventos técnicos regionais.

Conteúdo e lâmina de água no solo (m³ m⁻³, % e mm)

Como exemplo prático para expressarmos o conteúdo de água no solo de 1 litro é que essa quantidade corresponderia à uma lâmina de água de 1 mm, caso distribuíssemos esse 1 litro de água em uma caixa com dimensões 1 m de largura, 1 m de comprimento e 1 m de altura, ou seja, uma caixa de água com capacidade de 1 m³ (Figura 1).

Ampliando este exemplo, 1 mm de água em 1 m³ de solo corresponderia ao conteúdo de água no solo (θ) de 0,001 m³ m⁻³ ou a 0,1% de água em base volume. A lâmina de água de 1 mm corresponderia a 10.000 litros de água em uma área de 1 hectare ou 10.000 m², ou seja, seria igual a 10 m³ de água. Se considerarmos uma chuva ou uma irrigação de 1 mm para a camada de solo superficial de 10 cm ou 0,10 m de profundidade, o θ seria igual a 0,10 m³ m⁻³ ou a 1%.

Por isso, muitos agropecuaristas instalam o pluviômetro para verificar a lâmina de água que se acumulou durante uma chuva. Assim, é possível transformar a lâmina de água (mm) em volume de água (m³), ou então em conteúdo de água no solo (θ ; m³ m⁻³).

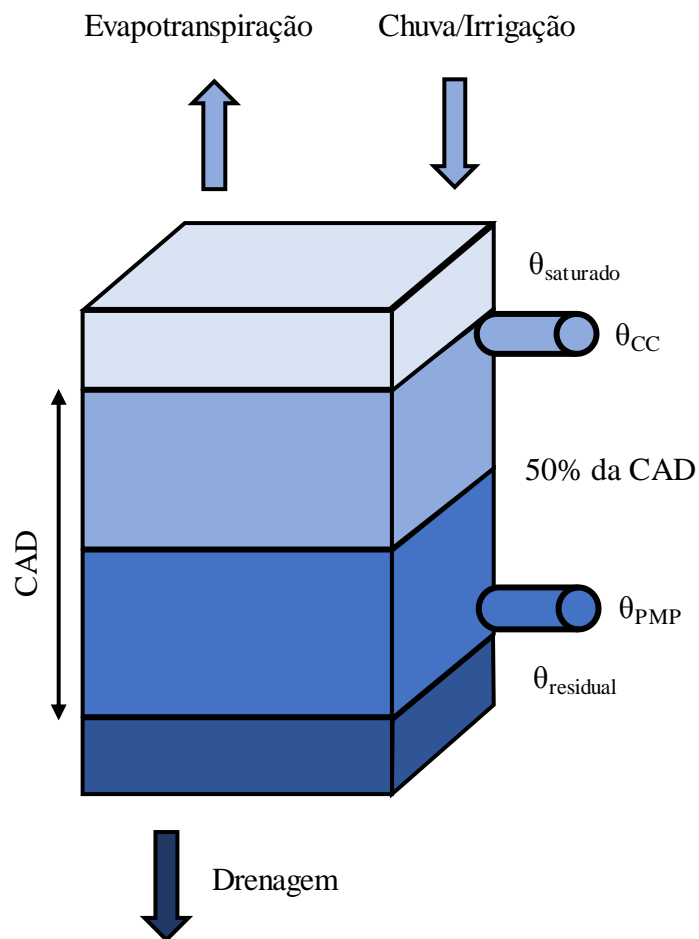


Figura 1. Ilustração da capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) como se fosse uma caixa d'água; disponível para as plantas entre a capacidade de campo (θ_{CC}) e o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) pelas perdas por evapotranspiração, drenagem e reposições pela chuva ou irrigação; com indicativo da CAD mínima de 50% recomendada para o melhor desenvolvimento das pastagens. Os conteúdos de água no solo (θ_{saturado} e θ_{residual}) solo não estariam disponíveis às plantas.

A capacidade máxima de água que caberia em solos da Região Noroeste do Paraná varia entre 0,32 a 0,38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 32 a 38% de umidade a base volume ou 320 a 380 mm com o solo encharcado (Figura 2). Nesta figura observa-se que esses solos, em uma estiagem, teriam a quantidade de água de 0,06 a 0,24 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 6 a 24% de umidade a base volume ou 60 a 240 mm. Só que nem toda esta água estaria disponível para as plantas, é o que veremos a seguir:

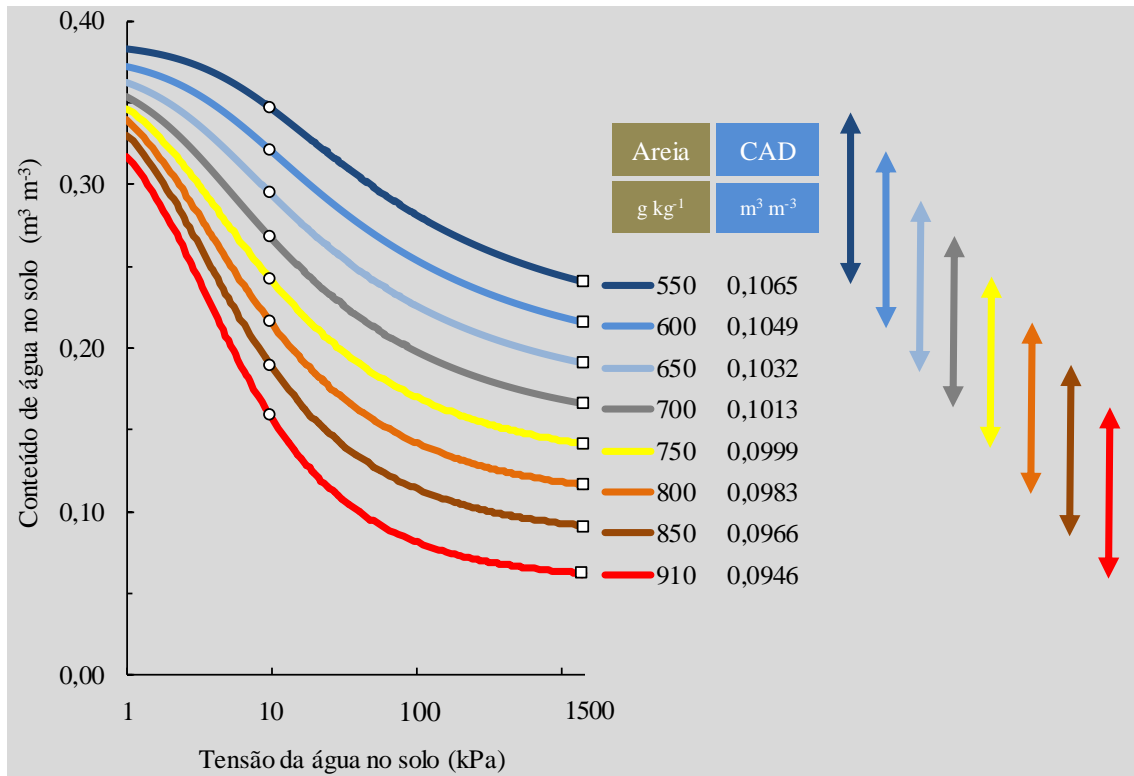


Figura 2. Conteúdo de água no solo (θ) em função das tensões da água no solo para teores de areia total. Fonte: adaptado. Legenda: \circ (θ_{CC}) e \square (θ_{PMP}). As barras com setas verticais correspondem à capacidade de armazenamento de água (CAD). Fonte: adaptado (Fidalski e Helbel Junior, 2020).

Capacidade de água disponível – CAD

O uso de diversos critérios para a reposição da lâmina de água pela irrigação, em pastagens na Região Noroeste do Paraná, tem gerado muitas dúvidas aos produtores rurais pela falta de certeza quanto à reposição da quantidade de água necessária ao solo para o desenvolvimento das forrageiras.

O problema é tal que, em alguns casos, o sistema de irrigação é acionado sem critérios técnicos no período noturno, usufruindo da energia elétrica com menor custo oferecida pelo Programa de Irrigação Noturna (PIN). Em outras situações, o sistema de irrigação é acionado somente quando já ultrapassados os limites técnicos de manutenção da capacidade de água disponível (CAD) no solo.

Didaticamente, a CAD pode ser comparada a um reservatório de água no solo como se fosse uma caixa de água que, quando cheia, se encontra com a máxima capacidade de abastecimento de água para os moradores de uma residência (Figura 1).

Nessa suposição, o limite máximo de água da CAD corresponderia à uma caixa completamente cheia e a água começaria a escorrer pelo cano superior (θ_{CC}). Isso é determinado em laboratório num equipamento chamado de Mesa de Tensão, por meio de cilindros metálicos de 100 cm³ (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) com solo saturados ou encharcados em água são drenados pela sucção de uma mangueira rebaixada a 1 m de altura da base daquele equipamento, até que essas amostras entrem em equilíbrio hidráulico, ou seja, até não cair mais nenhuma gota de água. Por isso, esse conteúdo de água no solo foi definido tecnicamente como capacidade de campo (θ_{CC}), sendo igual à pressão de 1 metro de coluna de água ou à tensão da água no solo de 10 kPa.

Na prática, a θ_{CC} corresponderia à umidade do solo geralmente encontrada após dois dias de uma boa chuva, tempo suficiente para drenar todo o excesso de água que é drenada naturalmente pela força gravitacional. A partir desse momento, as plantas começariam a absorver água do solo por meio da sucção pelas raízes, causada pela menor tensão da água entre o solo e o ar nas extremidades das folhas das plantas.

Considerando como exemplo a caixa da água de uma residência, vejamos: se o registro da entrada de água for desligado, o nível de água dessa caixa diminuirá gradativamente a cada dia, conforme o consumo de água, até atingir o limite inferior que seria o fundo dessa caixa de água (Figura 1). Esse limite inferior no solo é chamado tecnicamente de ponto de murcha permanente (θ_{PMP}).

Portanto, as plantas não teriam acesso ao $\theta_{saturado}$ (<10 kPa) pelo excesso de água em solo encharcado, que é rapidamente perdido pela maior drenagem da água no solo, e tampouco ao $\theta_{residual}$ (>1500 kPa), que fica retido às partículas do solo, impossibilitando a extração pelas raízes (Figura 1).

Para medir o θ_{PMP} em amostras de solo são necessários equipamentos de laboratório, sendo o mais conhecido as Câmaras de Richard. Os cilindros metálicos com solo são colocados sobre uma placa porosa dentro dessa câmara e à eles são aplicados uma pressão semelhante a 153 m de coluna de água ou tensão de 1500 kPa.

A água extraída pela injeção de ar correspondente à pressão de 1500 kPa até que nenhuma água mais seja retirada, por entrarem em equilíbrio hidráulico. O θ_{PMP} seria a quantidade de água na qual as plantas não se recuperariam do murchamento, causado pela transpiração em condições de deficiência hídrica.

Então, a partir de resultados de θ_{CC} e θ_{PMP} determinados em amostras de solo de uma selecionada propriedade rural, poderíamos conhecer o valor de CAD ($\theta_{CC} - \theta_{PMP}$).

Exemplificando, se uma determinada camada de solo apresentar 85% de areia total, teria θ_{CC} de $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e θ_{PMP} de $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 2 e Tabela 1); logo, a CAD seria de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, correspondendo à uma lâmina de água de 1 mm por 1 cm, 10 cm para um solo de 1 m de profundidade ou 10% do volume do solo (Fidalski e Helbel Junior, 2020).

Assim como o consumo de água de uma residência aumenta diariamente ao longo do mês, isto também ocorre de forma similar no solo, pois as plantas vão continuamente absorvendo e perdendo água para a atmosfera pela transpiração - que ocorre pelos estômatos foliares - além das perdas pela evaporação com o aumento da temperatura durante o dia na superfície do solo, além de outros fatores climáticos.

Esses dois processos (evaporação e transpiração) de perdas de água do solo são chamados de evapotranspiração, os quais variam, principalmente, em função do desenvolvimento da pastagem nas diferentes estações do ano e da intensidade do pastejo pelos bovinos.

O número de dias para reduzir a CAD do solo entre θ_{CC} e o θ_{PMP} é variável, mas contínuo, podendo ser revertido se ocorrer uma chuva ou se for reposta à uma determinada lâmina de água por meio da irrigação.

A chuva é um fenômeno natural e não há controle da quantidade da lâmina que irá ocorrer, a qual poderá ser insuficiente, igual ou superior ao limite da θ_{CC} . Contrariamente, com um sistema de irrigação bem dimensionado e conhecendo a CAD do solo para as exigências de cada cultura, poderíamos repor a lâmina de água necessária até θ_{CC} .

Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} que possibilitam quantificar a CAD são dois pontos de uma curva de retenção de água do solo. Essa curva, geralmente descrita na forma gráfica de um “S”, descreve a água no solo desde a sua saturação (encharcado) até o θ_{PMP} (Figura 2). A importância de se conhecer a curva de retenção de água no solo é a possibilidade de se estimar a quantidade de água no solo para qualquer valor de tensão entre θ_{CC} e θ_{PMP} .

Tabela 1. Conteúdo de água no solo para a capacidade de campo (θ_{CC}) a 10 kPa e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) a 1500 kPa, para teores de areia total em solos da Região Noroeste do Paraná.

Teor de areia total		θ_{CC}	θ_{PMP}	θ_{CC}	θ_{PMP}
(%)	(g kg ⁻¹)				
55	550	35	24	0,35	0,24
56	560	34	24	0,34	0,24
57	570	34	23	0,34	0,23
58	580	33	23	0,33	0,23
59	590	32	22	0,32	0,22
60	600	32	22	0,32	0,22
61	610	31	21	0,31	0,21
62	620	31	21	0,31	0,21
63	630	30	20	0,30	0,20
64	640	30	20	0,30	0,20
65	650	29	19	0,29	0,19
66	660	29	19	0,29	0,19
67	670	28	18	0,28	0,18
68	680	28	18	0,28	0,18
69	690	27	17	0,27	0,17
70	700	27	17	0,27	0,17
71	710	26	16	0,26	0,16
72	720	26	16	0,26	0,16
73	730	25	15	0,25	0,15
74	740	25	15	0,25	0,15
75	750	24	14	0,24	0,14
76	760	24	14	0,24	0,14
77	770	23	13	0,23	0,13
78	780	23	13	0,23	0,13
79	790	22	12	0,22	0,12
80	800	22	12	0,22	0,12
81	810	21	11	0,21	0,11
82	820	21	11	0,21	0,11
83	830	20	10	0,20	0,10
84	840	20	10	0,20	0,10
85	850	19	9	0,19	0,09
86	860	19	8	0,19	0,08
87	870	18	8	0,18	0,08
88	880	18	7	0,18	0,07
89	890	17	7	0,17	0,07
90	900	17	6	0,17	0,06
91	910	16	6	0,16	0,06

Fonte: elaborada a partir dos dados originais publicados por Fidalski e Helbel Junior (2020).

Critérios para irrigação de pastagens

Tecnicamente, as pastagens deveriam ser mantidas com umidade acima da tensão de 50% da CAD para proporcionar as melhores condições hídricas para o seu desenvolvimento vegetativo as pastagens.

Este conceito seria a mesma coisa se comparássemos à caixa de água de uma determinada residência: caso fosse mantida com no mínimo 50% da sua capacidade do volume total, não faltaria água para o consumo, mantida por uma boia.

Comparativamente, o sistema de irrigação de uma propriedade rural com pastagens poderia ser acionado quando o conteúdo de água no solo atingisse 50% da CAD, desde que se conhecesse a tensão correspondente à esse critério, que denominamos de tensão crítica de água no solo. Esta tensão agora é possível de ser analisada a partir da tabela 2.

Existem trabalhos com resultados de algumas curvas de retenção de água no solo para a Região Noroeste do Paraná, mas restritos a poucas áreas. Isto se deve à necessidade de retirar cilindros metálicos com solo, por meio de um equipamento denominado extrator; além do tempo e custo para a extração da água do solo em diferentes tensões em laboratório de física do solo.

Para contornar essas limitações e orientar a assistência técnica e os produtores rurais que utilizam a irrigação, em 2016, foi realizada a caracterização de curvas de retenção de água e dos teores de areia total nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade em solos do Arenito e do Basalto para a Região Noroeste do Paraná, em propriedade rurais das Redes de Referências do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná).

As curvas de retenção de água no solo foram obtidas em propriedades rurais que utilizavam irrigação para pastagens nas bacias hidrográficas Piquiri, Paraná 1, Paraná 2, Paranapanema 4, Pirapó e Ivaí, nos municípios de Atalaia, Colorado, Cruzeiro do Oeste, Goioerê, Icaraíma, Loanda, Moreira Sales, Santa Izabel do Ivaí, Santo Antônio do Caiuá e São Jorge do Patrocínio (Figura 3).

Tabela 2. Tensão crítica de água no solo e conteúdo de água no solo para teores de areia total em solos da Região Noroeste do Paraná.

Teor de areia total		Tensão crítica		Conteúdo de no solo	
total		de água no solo		água no solo (θ)	
(%)	(g kg ⁻¹)	(kPa)	(mmHg)	(m ³ m ⁻³)	(%)
55	550	59	443	0,30	30
56	560	58	435	0,29	29
57	570	57	428	0,29	29
58	580	56	420	0,28	28
59	590	55	413	0,28	28
60	600	54	405	0,27	27
61	610	53	398	0,27	27
62	620	53	398	0,26	26
63	630	52	390	0,26	26
64	640	51	383	0,25	25
65	650	50	375	0,25	25
66	660	49	368	0,24	24
67	670	48	360	0,24	24
68	680	47	353	0,23	23
69	690	46	345	0,23	23
70	700	46	345	0,22	22
71	710	45	338	0,22	22
72	720	44	330	0,21	21
73	730	43	323	0,21	21
74	740	42	315	0,20	20
75	750	41	308	0,20	20
76	760	40	300	0,19	19
77	770	39	293	0,19	19
78	780	39	293	0,18	18
79	790	38	285	0,18	18
80	800	37	278	0,17	17
81	810	36	270	0,17	17
82	820	35	263	0,16	16
83	830	34	255	0,16	16
84	840	33	248	0,15	15
85	850	32	240	0,15	15
86	860	31	233	0,14	14
87	870	31	233	0,14	14
88	880	30	225	0,13	13
89	890	29	218	0,13	13
90	900	28	210	0,12	12
91	910	27	203	0,12	12

Fonte: elaborada a partir dos dados originais publicados por Fidalski e Helbel Junior (2020).

Essa caracterização possibilitou obter a informação de que solos com teores de areia total entre 55% a 91 % ou 550 g kg^{-1} a 910 g kg^{-1} possuem CAD de 1 mm de água para cada 1 cm de solo (Tabela 1). No caso específico das pastagens em que, tecnicamente, a irrigação depende da CAD para atingir a profundidade correspondente a 50 cm, que concentra a maior quantidade das raízes no solo, então, a CAD para essa finalidade seria de 50 mm.

Este valor de CAD foi o mesmo para todos os solos da Região Noroeste do Paraná. Por sua vez, os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} diminuíram com o aumento dos teores de areia total: ou seja, quanto menores os teores de areia total, menores serão os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} para o mesmo tamanho da caixa de água (Figura 2). As tensões críticas da água no solo e θ , porém, diminuíram com o aumento dos teores de areia total (Tabela 2).

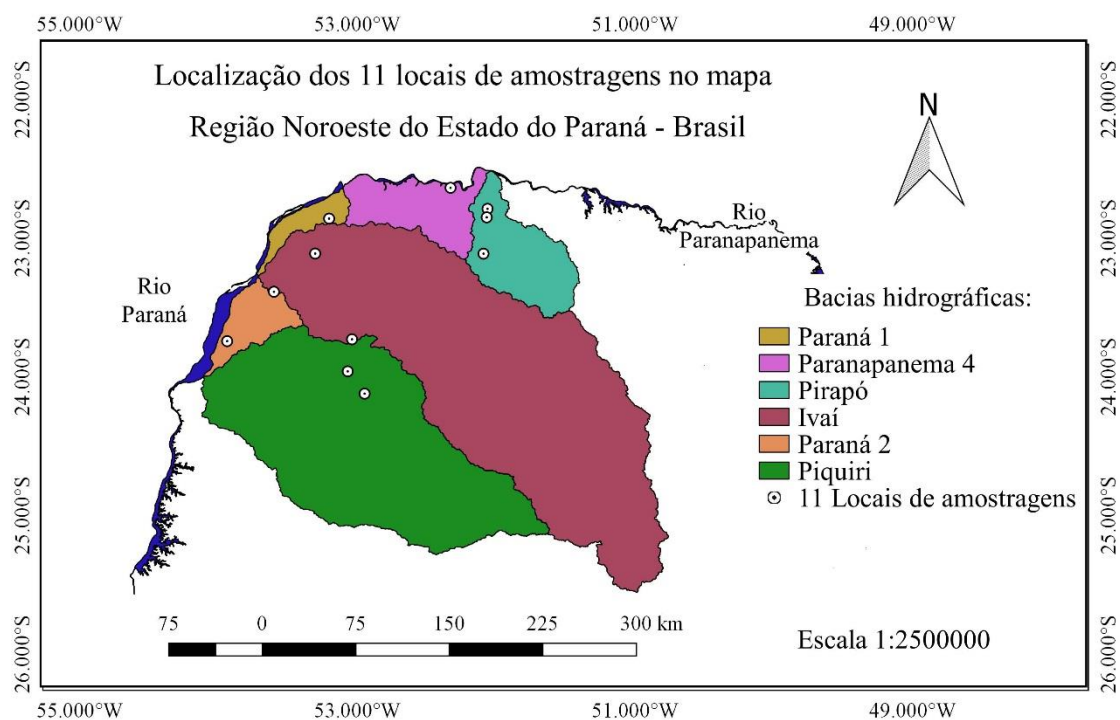


Figura 3. Localização dos onze pontos de coletas das amostras de solo (o) em dez municípios e em seis bacias hidrográficas da Região Noroeste do Paraná (INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ, 2020; Fidalski e Helbel Junior, 2020).

A tensão da água no solo pode ser medida por meio da instalação de tensiômetros (Figura 4) em diferentes profundidades do solo ou pelo θ . Contudo, os tensiômetros são os equipamentos de menor custo ao produtor rural, constituídos de uma cápsula de

cerâmica porosa, em contato com o solo, colada em um cano de PVC cheio de água e ligada a um vacuômetro, que registra valores de tensões máximas de até 85 kPa.

Com esse equipamento, o próprio produtor rural poderá realizar o monitoramento diário das tensões de água no solo. Quando os vacuômetros registrarem valores próximos às tensões críticas de água no solo (Tabela 2), será o momento oportuno para repor água no solo por meio do acionamento do sistema de irrigação.

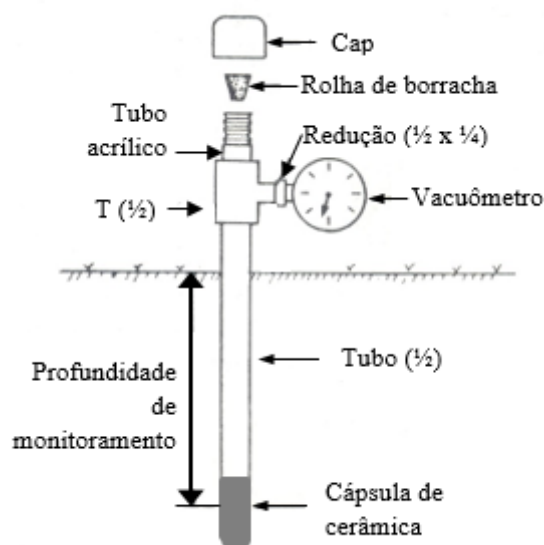


Figura 4. Ilustração de um tensiômetro com vacuômetro metálico instalado no solo (Adaptada: Faria e Costa, 1987).

Monitoramento das tensões críticas com tensiômetros

É oportuno salientar que, para a utilização do monitoramento via tensiometria - descrito nesta publicação -, é imprescindível medir a precipitação oriunda da chuva ou da irrigação. Para isso, a instalação de um pluviômetro próximo às baterias de tensiômetros é um item indispensável (Figura 5). A altura de instalação, em relação à superfície do solo, deve ser de 1,5 m e a área de captação (boca do aparelho) deve estar bem nivelada.

Para o monitoramento da tensão de água no solo, tensiômetros foram instalados em uma propriedade da Região Noroeste do Paraná, com o objetivo de avaliar o uso da tensiometria no manejo da irrigação (Figura 5). Nesse caso específico, foi construída uma cerca elétrica com três palanques de madeira para evitar possíveis contatos pelos animais durante pastejo, sendo fundamental evitar danos à cápsula porosa dos equipamentos.

Os tensiômetros foram instalados a 20 cm (81% ou 810 g kg⁻¹ de areia total) e a 40 cm de profundidade (76% ou 760 g kg⁻¹ de areia total) para serem obtidos os valores de tensões de água no solo diariamente pela manhã, por meio da leitura dos valores nas escalas dos vacuômetros dos tensiômetros; em um ponto representativo de uma propriedade rural na Região Noroeste do Paraná (Helbel Junior e Fidalski, 2019).

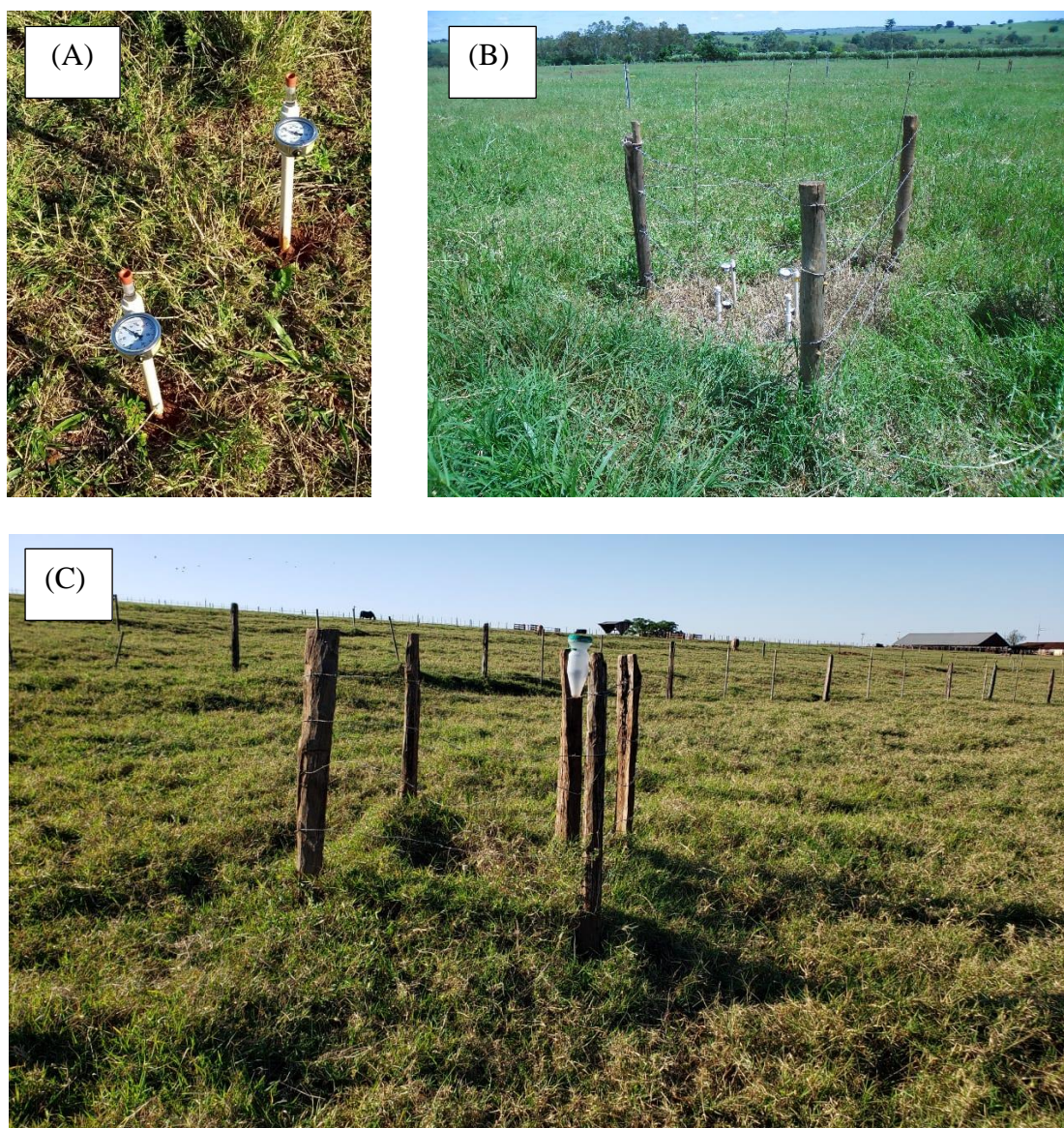


Figura 5. Fotos ilustrativas do conjunto de tensiômetros instalados a 20 cm e 40 cm de profundidade (A); um cercado feito para isolar o acesso de animais bovinos em uma pastagem, mas a vegetação dentro do cercado com os tensiômetros deverá ser mantida similar a pastagem, sem a utilização de herbicidas (B); um conjunto de tensiômetros instalados a 20 cm e 40 cm de profundidade e um pluviômetro fixado a 1,5 m de altura, em um dos palanques de madeira do cercado feito para isolar o acesso de animais bovinos em uma pastagem (C) – (Foto: Mauro Fernandes Junior, Fazenda Centenário, Guairaça – PR).

Após as leituras dos vacuômetros dos tensiômetros, eram conferidas precipitações acumuladas em um pluviômetro de leitura direta com capacidade máxima de 150 mm, instalado a 1,5 m de altura da superfície do solo e distância de 50 m dos tensiômetros.

Este monitoramento foi realizado durante 274 dias, em duas etapas: 1ª) monitoramento sem intervenção na decisão do manejo da irrigação entre 10 de novembro de 2018 a 25 de março de 2019 (Figura 6); 2ª) monitoramento com intervenção do manejo da irrigação pelo critério das tensões críticas de água no solo entre 26 de março de 2019 a 16 de agosto de 2019 (Figura 7).

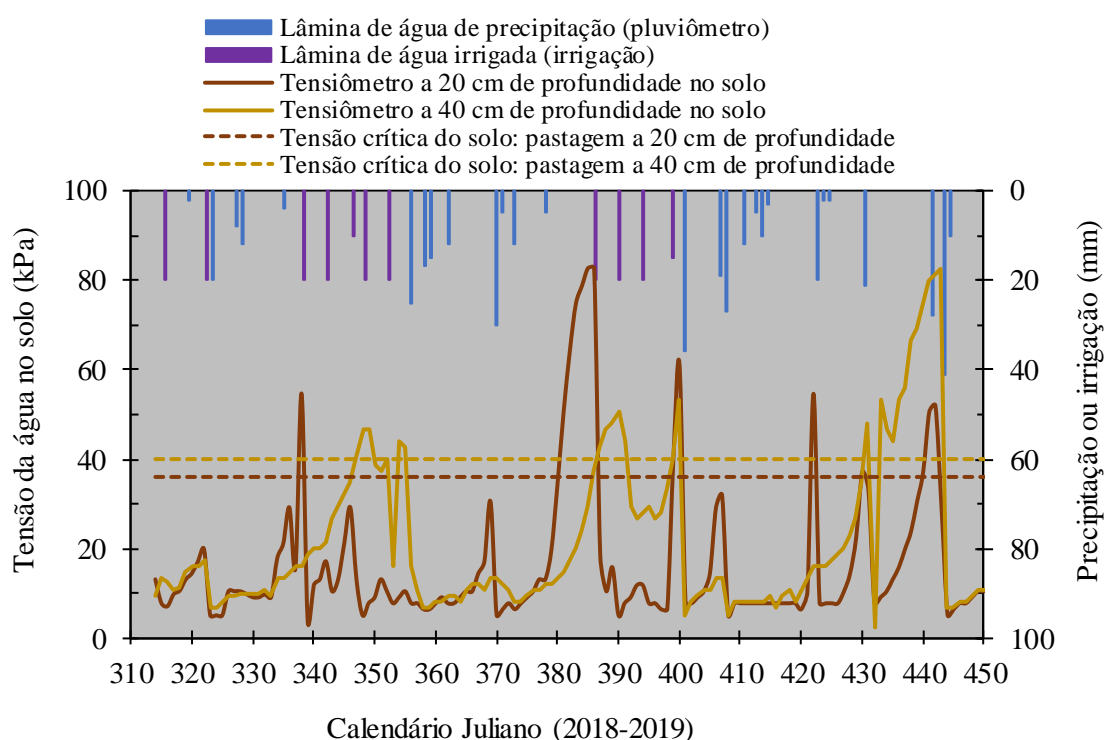


Figura 6. Tensões da água no solo obtidas durante 130 dias (10/11/2018 a 25/03/2019) em vacuômetros de tensiômetros instalados em duas profundidades em relação às tensões críticas de água no solo, lâminas de precipitações e irrigações ocorridas entre 2018-2019 (314°-365° dias de 2018 e 2019, 366°-449° dias do calendário Juliano). Adaptado: Helbel Junior e Fidalski (2019).

Os resultados das tensões de água no solo obtidas por meio das leituras em tensiômetros possibilitaram a identificação de cinco momentos de deficiência hídrica para o desenvolvimento da grama estrela branca (04/12/2018, 21/01/2019, 03/02/2019, 26/02/2019 e 16/03/2019, respectivamente, aos 338°, 386°, 399°, 422° e 440° dias do calendário Juliano).

Todas as leituras realizadas nos vacuômetros dos tensiômetros estavam com tensões de água no solo inferiores à capacidade máxima de 85 kPa, considerando-se as tensões críticas de água no solo 36 kPa (812 g kg^{-1}) a 20 cm profundidade e 40 kPa (756 g kg^{-1}) a 40 cm de profundidade (Figura 6).

Após a apresentação dos resultados do monitoramento ao produtor rural (Figura 6), o mesmo optou em ligar o sistema de irrigação quando as tensões da água no solo estivessem próximas aos valores de tensões críticas (Figura 7). A irrigação, baseada nos limites da água no solo próximos as tensões críticas de água no solo, com a reposição de lâmina de água estimada em 20 mm, foram realizadas nove vezes (maio a agosto de 2019).

Essas irrigações reduziram as tensões da água no solo abaixo da tensão crítica da mesma, caracterizando a eficiência deste sistema de irrigação monitorado por meio de tensiômetros; à exceção da irrigação realizada em 10/08/2019 (587º dias do calendário Juliano de 2018/2019), por ter sido no momento em que o solo apresentava tensão da água no solo de 75 kPa, superior a tensão crítica de água no solo (Figura 7).

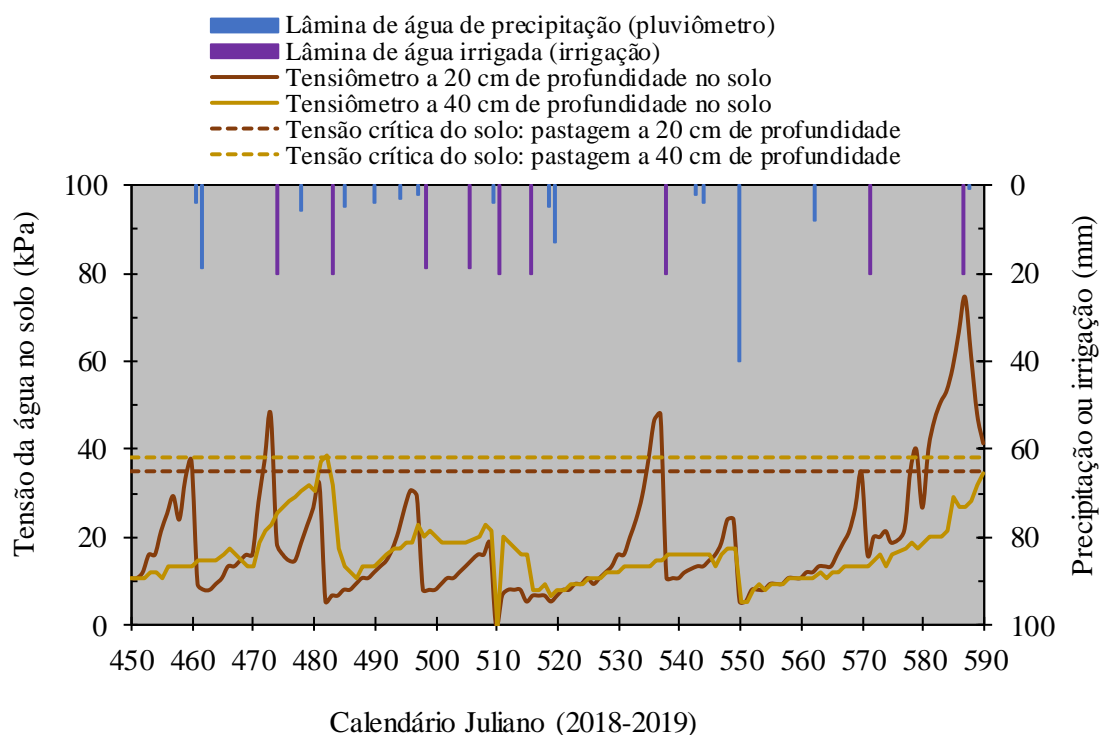


Figura 7. Tensões da água no solo obtidas durante 144 dias (26/03/2018 a 16/08/19) em vacuômetros de tensiômetros instalados em duas profundidades em relação às tensões críticas, lâminas de precipitações e irrigações ocorridas entre 449º-593º dias do calendário Juliano de 2018/2019).

Quantidade e profundidade de tensiômetros

Um dos questionamentos mais comuns em eventos de difusão da tensiometria realizados em 2019 e 2020 na Região Noroeste do Paraná, aos agentes da assistência técnica e agropecuaristas, é quanto ao número e profundidade ideais de instalação dos tensiômetros para monitorar o manejo da irrigação em pastagens. O tensiômetro a 20 cm de profundidade teria a função de iniciar a necessidade de reposição da lâmina de água no solo, enquanto que o tensiômetro a 40 cm de profundidade teria a função de indicar se estaria ocorrendo o excesso de irrigação.

Então, em áreas com características parecidas dos teores de areia total, pelo menos um conjunto de tensiômetros devem ser instalados a 20 cm e 40 cm de profundidade, para o agropecuarista melhor conhecer e se adaptar à tensiometria. Já em áreas com variações dos teores de areia totais, é indicada a instalação de conjuntos com os dois tensiômetros em locais da pastagem onde tenha menos e mais teores de areia total. Caso haja disponibilidade de apenas um conjunto de dois tensiômetros, sugere-se que seja instalado no local com menor teor de areia total na pastagem.

No geral, um dos cuidados sempre informados aos futuros usuários da tensiometria é quanto à manutenção do nível d'água dentro do tubo de acrílico do tensiômetro (Figura 4).

Preparação do equipamento e instalação no campo

Na propriedade agrícola, cada aparelho deve ser testado e preparado para ser levado à campo. Os passos adaptados das descrições de Faria e Costa (1987) para a preparação e instalação dos tensiômetros são as seguintes:

a) Encher totalmente os tensiômetros com água fervida (utilizar em temperatura ambiente) e mantê-los dentro de um recipiente com água de forma que a cápsula permaneça totalmente imersa, por um período de 4 a 5 dias;

b) Após esse período, e com a cápsula ainda mergulhada em água, proceder a retirada de ar com o auxílio de uma seringa de 50 ml e com uma rolha de borracha adaptada na agulha da seringa. Conecte a rolha nos tensiômetros e faça a sucção, verificando a presença de bolhas de ar dentro da seringa e observando a movimentação do ponteiro do vacuômetro. Repita esta operação até não observar mais a presença de bolhas de ar na seringa;

c) Retire os tensiômetros da água e envolva a cápsula num pano seco ou em papel toalha absorvente. Isso criará um vácuo (em torno de 50 kPa) e permitirá verificar rapidamente o funcionamento do tensiômetros;

d) Os tensiômetros devem ser levados e depois completos de água para a instalação no campo dentro de um balde também com água ou envolto por um filme plástico e vedado;

e) Com o auxílio de um trado ou cano de PVC do mesmo diâmetro (ou um pouco menor) do tensiômetro, deve-se realizar a abertura de um buraco até a profundidade de monitoramento desejada, preferencialmente com solo úmido;

f) Adicione um pouco de terra solta (da mesma que foi retirada pelo trado ou cano de PVC) e água dentro do orifício, com objetivo de formar uma pasta úmida de solo e melhorar o contato cápsula-solo;

g) Marque no corpo (entre o meio da cápsula e a parte superior do tubo) dos tensiômetros a profundidade desejada, considerando-se alguns centímetros ocupados pela mistura pastosa descrita no item anterior;

h) Em seguida, insira-o neste buraco, tomando o cuidado de não empurrar e apoiando sempre no vacuômetro, sem forçar demais, pois a cápsula é a parte mais sensível do equipamento - para garantir seu perfeito funcionamento, ela não pode sofrer quebra ou trincas durante a instalação. Também deve-se atentar para não existir folga (bolsas de ar) entre a cápsula e o solo;

i) As leituras dos vacuômetros devem ser feitas 24 horas após o procedimento de instalação e, de preferência, após duas ou três irrigações ou uma boa chuva. Estas leituras devem ser realizadas diariamente e à mesma hora do dia, antes da irrigação, preferencialmente de manhã (entre 7 e 9 horas);

j) Semanalmente, após a leitura e antes da irrigação, deve-se verificar o nível da água dos tensiômetros e, se necessário, completar o nível;

k) Caso seja observadas leituras muito diferentes em tensiômetros instalados na mesma profundidade de monitoramento, ou então perceber que não respondem à irrigação, deve-se retirar o(s) tensiômetro(s) e repetir os procedimentos de preparação e instalação descritos acima. Se o problema continuar deve-se trocar o equipamento.

Local para instalação de tensiômetros em uma pastagem

Os equipamentos devem ser instalados em pontos representativos da área de pastagem irrigada. Assim, para evitar interferência nas leituras da tensão de água no solo, deve-se evitar a instalação de conjuntos de tensiômetros em pontos de área irrigada que apresentem maior risco de ocorrência de vazamentos e acúmulo de água no solo, como canais de terraços, depressões, registros, válvulas e cavaletes hidráulicos ou até em pontos muito próximos ao tubo de subida dos aspersores. Neste sentido, também evitar a instalação dos tensiômetros em cima ou muito próximo do traçado das tubulações enterradas.

Considerando que na irrigação de pastagens para gado de leite, em pequenas e médias propriedades, o método de irrigação predominante é a aspersão através de sistemas convencionais fixos, a instalação dos tensiômetros deve ser feita preferencialmente respeitando a divisão dos setores de irrigação, entre as linhas de aspersores, na região de maior sobreposição do raio molhado (entre o terço mediano e o terço final do raio irrigado pelo aspersor), procurando instalá-los em locais que não irão dificultar o manejo dos animais e os tratos culturais na pastagem.

Aquisição do equipamento

A aquisição de tensiômetros pode ser feita via comércio eletrônico através de algumas empresas que ofertam o equipamento. Apesar dos modelos disponíveis para aquisição terem aparentemente uma configuração semelhante, não existe uma padronização oficial quanto aos aspectos construtivos e da qualidade dos materiais utilizados na confecção dos tensiômetros. Por isso, o usuário deve estar atento a alguns detalhes que são importantes, como:

a) Dar preferência para equipamentos que possuem vacuômetros banhados em glicerina, tendo em vista que estes resistem mais às condições inóspitas de campo e possuem uma vida útil maior;

b) Adquirir equipamentos que possuem vacuômetros com a mesma unidade (kPa, bar, mmHg, cmHg e etc.) de leitura. O mais comum é a unidade kPa. Isso facilita a comparação entre baterias e entre equipamentos na bateria, evitando cálculos para conversão de unidades que podem confundir a interpretação da leitura e a identificação da tensão crítica pelo usuário no campo.

Existe também a opção do usuário adquirir separadamente os componentes e construir seus próprios tensiômetros. Detalhes podem ser conferidos em Faria e Costa (1987). Esta opção é sempre a mais vantajosa em termos de custo, no entanto, o usuário deve ter condições de conferir com confiabilidade a *vedação* dos equipamentos construídos, considerando que esta é uma característica indispensável para o funcionamento adequado destes equipamentos.

Estimativas da lâmina e tempo de irrigação utilizando a tensiometria

Na ausência de curva de retenção para determinada pastagem na Região Noroeste do Paraná, pode-se utilizar a metodologia da tensiometria descrita nesta publicação para o manejo da irrigação, com o propósito de estimar o *quanto irrigar* e o *tempo de irrigação*.

Para isso faz-se necessário conhecer algumas informações técnicas do projeto do sistema de irrigação como: intensidade de precipitação, número de setores e eficiência de aplicação de água; e também a profundidade de monitoramento adotada para tomada de decisão. Considerando-se o seguinte exemplo hipotético:

Tabela 3. Informações técnicas do projeto de um sistema de irrigação hipotético para uma pastagem na Região Noroeste do Paraná.

Informações técnicas do projeto de um sistema de irrigação hipotético	
Sistema de irrigação:	aspersão convencional fixo
Setores irrigados:	4 setores
Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação:	75% (0,75)*
Intensidade de precipitação do sistema de irrigação:	5 mm h ⁻¹
Profundidade de monitoramento (referência: meio da cápsula de cerâmica do tensiômetro – Figura 4):	20 cm
Conteúdo de água disponível - CAD:	1 mm cm ⁻¹ (Figura 2)
Teor de areia total do solo na camada 0-20 cm:	81% ou 810 g kg ⁻¹

*Em sistemas de irrigação por aspersão convencional, a eficiência de irrigação é um parâmetro que pode variar de 70 a 85%. Este coeficiente depende de muitos fatores, como: velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar, cobertura vegetal, altura do aspersor e tamanho de gotas.

Se o teor de areia total de 81% ou 810 g kg^{-1} , a tensão crítica (T_c) da água no solo seria 36 kPa (Tabela 2). Assim, quando a média das leituras dos tensiômetros for igual ou superior a este valor de tensão crítica seria o momento de se irrigar esta pastagem, pelo tempo determinado a seguir:

Tabela 4. Simulação dos cálculos do tempo necessário para a irrigação para um sistema de irrigação hipotético na Região Noroeste do Paraná.

Simulação dos cálculos do tempo necessário para a irrigação	
CAD: ($1 \text{ mm cm}^{-1} \times 20 \text{ cm}$)	20 mm
T_c para a pastagem (50% da CAD)	$20 \text{ mm} \times 50\% = 10 \text{ mm}$
Lâmina líquida:	10 mm
Lâmina bruta:	$(10 \text{ mm}/0,75) = 13,3 \text{ mm}$
Tempo de irrigação por setor:	$(13,3 \text{ mm}/5 \text{ mm h}^{-1}) = 2,7 \text{ horas}$
Tempo de irrigação para área total:	$(4 \text{ setores} \times 2,7 \text{ horas}) = 10,8 \text{ horas}$ (10 horas e 48 minutos)

Portanto, neste exemplo hipotético, para que o conteúdo de água ou umidade do solo retorne à capacidade de campo (θ_{cc}) em toda a área irrigada é necessário que seja realizada uma irrigação durante 10 horas e 48 minutos.

Considerações finais

É possível realizar o manejo da irrigação por meio da tensão crítica de água no solo, em solos com predominância de textura arenosa, da Formação do Arenito Caiuá, na Região Noroeste do Paraná.

Quanto mais se atrasa a reposição de água por meio da irrigação nesses solos arenosos, após o limite das tensões críticas de água, menor será a eficiência da irrigação em manter as tensões críticas de água no solo e a CAD mínima em 50% para as pastagens.

Os procedimentos propostos para o “Manejo de água no solo para irrigação de pastagens na Região Noroeste do Paraná” estão apresentados, a seguir, na figura 8.

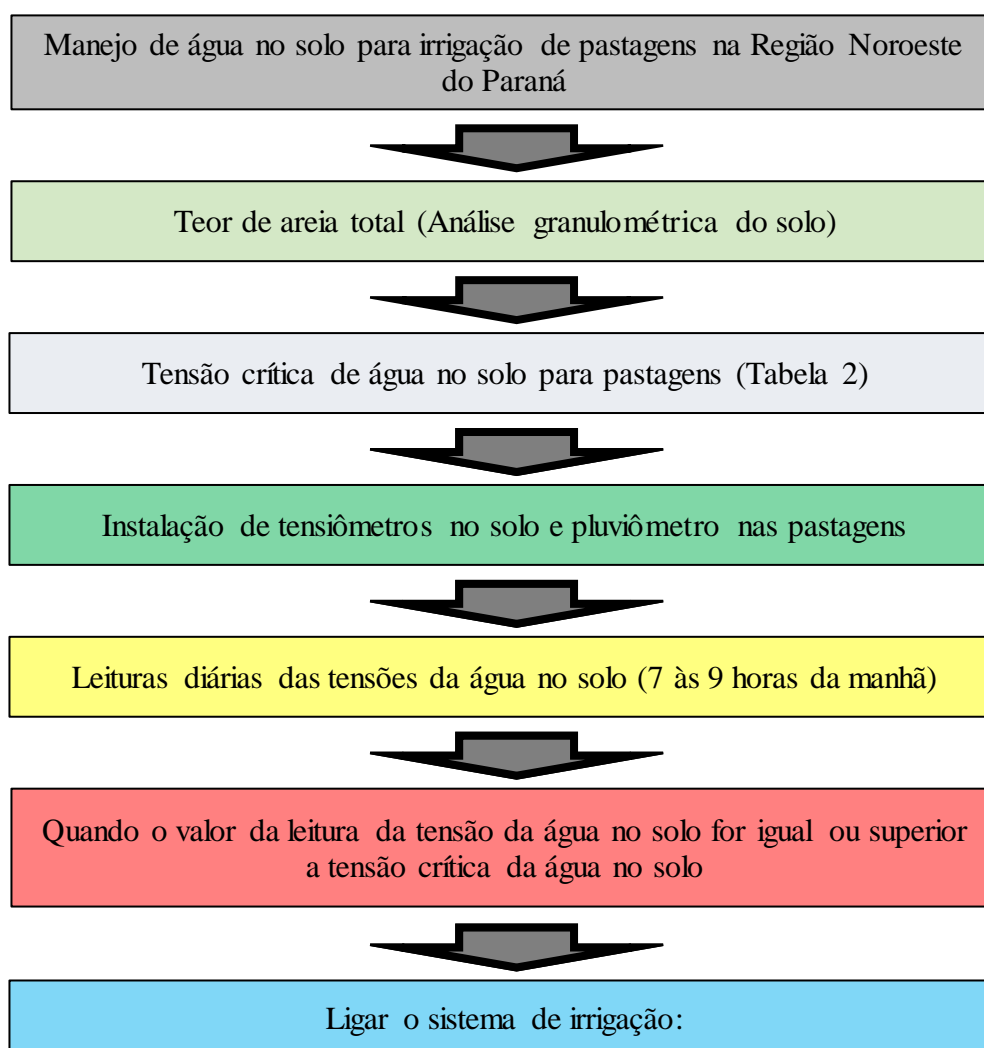


Figura 8. Procedimentos sugeridos para o manejo de água no solo para irrigação de pastagens na Região Noroeste do Paraná.

Agradecimentos

Aos Extensionistas Edson Fortunato Siquerolo, Marcio Antônio Baliscei, Rodrigo Liu Vieira e Rodrigo Araujo Borges, dos Escritórios Regional de Paranavaí e Local de Terra Rica do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), pelas colaborações que viabilizaram as avaliações de tensiometria realizadas a campo.

À Família do Sr. Antonio Pedro Moreira e Sra. Luzia Pavão Moreia, pelo interesse demonstrado no estudo e inestimável contribuição para a realização do mesmo, com a disponibilização da área de pastagem irrigada às leituras dos vacuômetros dos tensiômetros e das lâminas de água no pluviômetro.

Referências

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. v.1/2, 791p. (Embrapa-SNLCS. Boletim de pesquisa, 27; IAPAR. Boletim técnico, 16).

FARIA, R. T.; COSTA, A. C. S. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização; um aparelho simples para se determinar quando irrigar**. Londrina: IAPAR, 1987, 24p. (IAPAR, Circular, 56).

FIDALSKI, J.; HELBEL JUNIOR, C. Available water content for the management of irrigated crops in the Northwestern Region of Parana State. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 2, p. 3976-3986, 2020. DOI: 10.7127/rbai.v14n101152

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavaí. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 613-621, 2013. DOI 10.1590/S0100-06832013000300007.

HELBEL JUNIOR, C.; FIDALSKI, J. Monitoramento da tensão da água do solo em pastagem no arenito Caiuá do Noroeste do Paraná. In: TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. (Eds.). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS, 3., 2019, Campo Grande. **Anais...** Embrapa: Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1110617/intensificacao-agropecuaria-sustentavel-em-solos-arenosos-anais>>. Acessado em: 29 abr. 2020.

INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ. **Bacias Hidrográficas do Paraná**. Curitiba, 2020. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-80.html>>. Acessado em: 8 jun. 2020.

KRONEN, M. **A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná**. Londrina, IAPAR, 1990. 53p. (Boletim Técnico, 30).

SILVA, L. M.; FIDALSKI J.; BERTOL, O. J. Disponibilidade de água do solo em uma catena característica do arenito no noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. 2011., Uberlândia. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2011. 4p. 1 CD-ROM.