



METER

COMO OS SENSORES DE SOLO PODEM AJUDAR NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO?

TRADUZIDO E ADAPTADO DE MATERIAIS PRODUZIDOS OU COMPARTILHADOS COM A METER GROUP
DR. GAYLON CAMPBELL, DR. COLIN CAMPBELL, DR DOUGLAS COBOS

PROGRAMA

Gerenciamento de irrigação por monitoramento de solo

- Por umidade do solo
- Por potencial hídrico do solo
- Por condutividade elétrica do solo



GERENCIAMENTO DE IRRIGAÇÃO

- Produção saudável minimizando custos e impactos
- Melhoria da qualidade do produto final – destino dos assimilados
- Outras aplicações (gerenciamento de nutrição, controle de congelamento, etc.)



DOIS CENÁRIOS PARA IRRIGAÇÃO

Irrigar para o máximo crescimento vegetativo e produção de biomassa

Uso dos sensores de solo para monitorar e manter a umidade sempre próximo da CC

Monitoramento da planta não ajuda (sem sinais de estresse)

Irrigar para controlar o crescimento vegetativo e focar no particionamento de assimilados

Monitoramento da planta ajuda a detectar os níveis de estresse

Sensores de umidade servem para não exceder os níveis de estresse

Em combinação com monitoramento de demanda atmosférica



FORMAS DE GERENCIAMENTO

- Agendamento
- Monitorando a planta – bom para irrigação controlada de estresse
- Baseado na demanda por evapotranspiração – boa complementação com monitoramento de solo
- Baseado em monitoramento de solo



OBJETIVO

- Quando ligar a irrigação
- Quando desligar a irrigação

Vantagens de usar sensores no solo

- É a fonte de água e nutrientes – medição direta
- Mostra entrada e uso da água do solo
- Pode mostrar a drenagem



DADOS

SOLO

UMIDADE
POTENCIAL HÍDRICO
CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA

ATMOSFERA

DEMANDA
EVAPOTRANSPIRATIVA

PLANTA

POTENCIAL HÍDRICO
TEMPERATURA
CONDUTÂNCIA
ESTOMÁTICA

IRRIGAR?
QUANDO E
QUANTO

ECONOMIA
(ÁGUA, ENERGIA, NUTRIENTES,
AGROQUÍMICOS)
QUALIDADE DO PRODUTO



PASSOS PARA GERENCIAR COM SENSORES DE SOLO

- Selecionar o local
- Selecionar um método de medição de umidade
- Selecionar os limiares (cheio e reabastecimento)



LOCAL REPRESENTATIVO

- Condições de relevo
- Vegetação saudável
- Sistema de irrigação
- Profundidade de monitoramento



MÉTODO DE MONITORAMENTO

- Quais parâmetros?
- Quais tecnologias?
- Frequência de monitoramento?
- Acesso aos dados?
- Automatização?



LIMIARES

Valor de cheio e de reabastecimento

Baseado em potencial hídrico

Cheio: -10 a -30 kPa de potencial hídrico

Reabastecimento: -100 kPa

Baseado em conteúdo de água

Cheio: umidade em -10 a -30 kPa de potencial hídrico

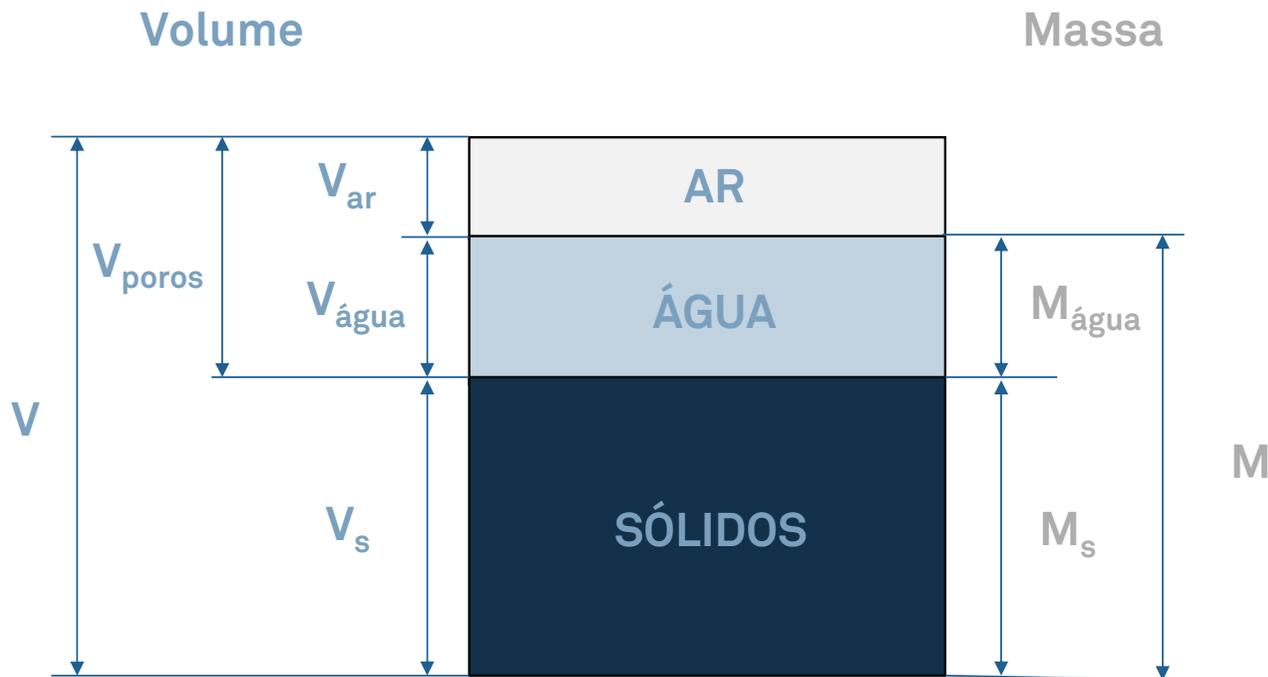
Reabastecimento: umidade em -100 kPa

Diferente para cada solo



UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO

UMIDADE DO SOLO



- Quantidade de água presente no solo
- No campo, somente volume
- Importante para saber quanto de água existe e quanto deve-se colocar



MONITORAMENTO DE UMIDADE

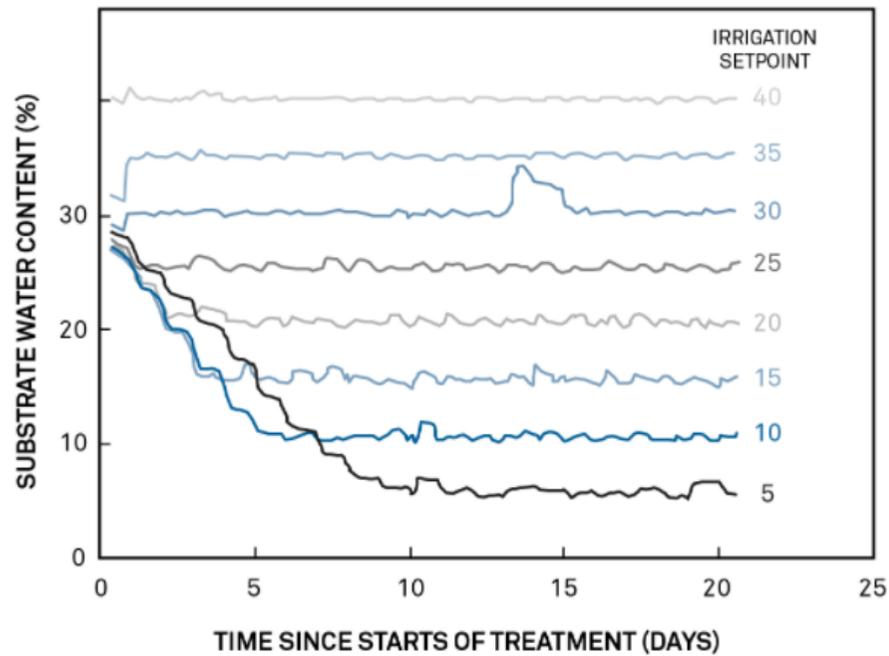


Figure 1. The water content of the substrate over the course of the experiment. Irrigation was controlled using EC-5 probes, and a small amount of water was added to the substrate automatically whenever the substrate water content dropped below the irrigation set point. There were eight different treatments with set points ranging from 5 to 40%.



MONITORAMENTO DE UMIDADE

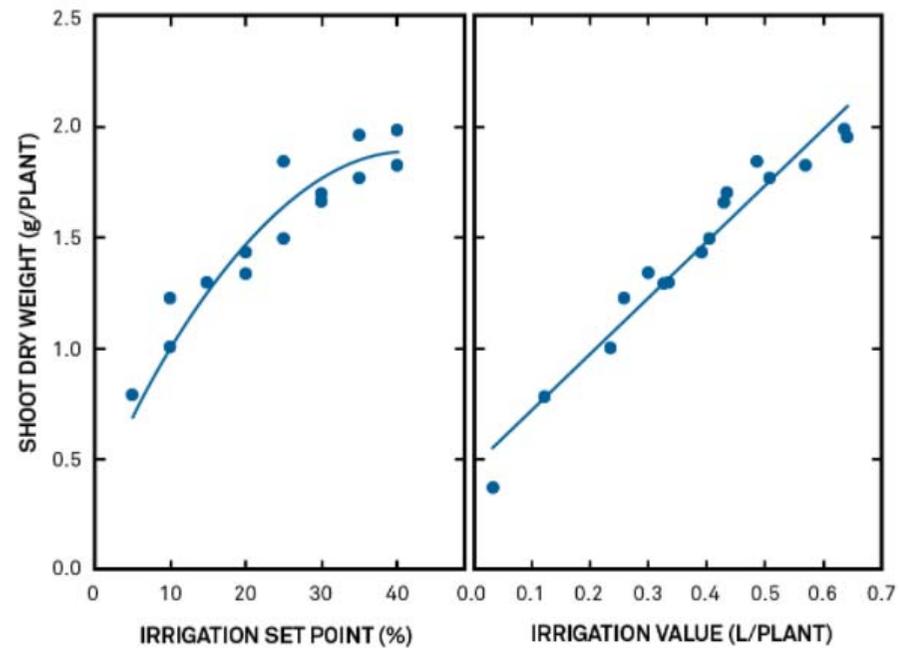
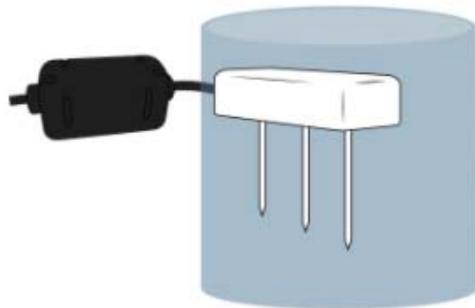


Figure 2. The effect of the substrate water content (left) and the total irrigation volume (right) on the dry weight of petunias. Controlling irrigation by controlling the substrate water content proved to be an effective way to control plant growth.



SENSOR DE CAPACITÂNCIA

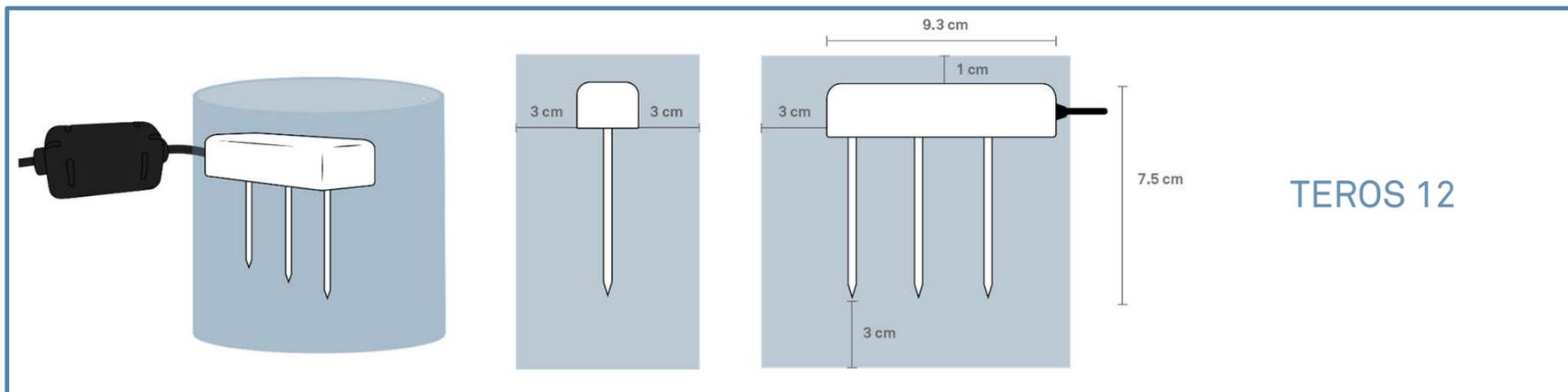
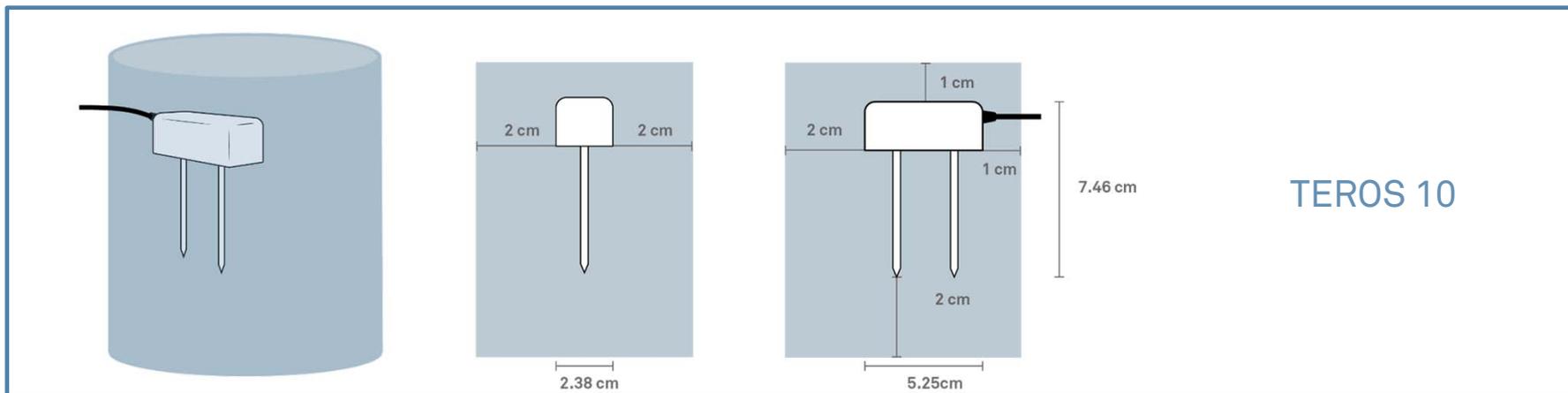
Permissividade dielétrica está relacionada com a capacidade de um material de reter cargas elétricas.



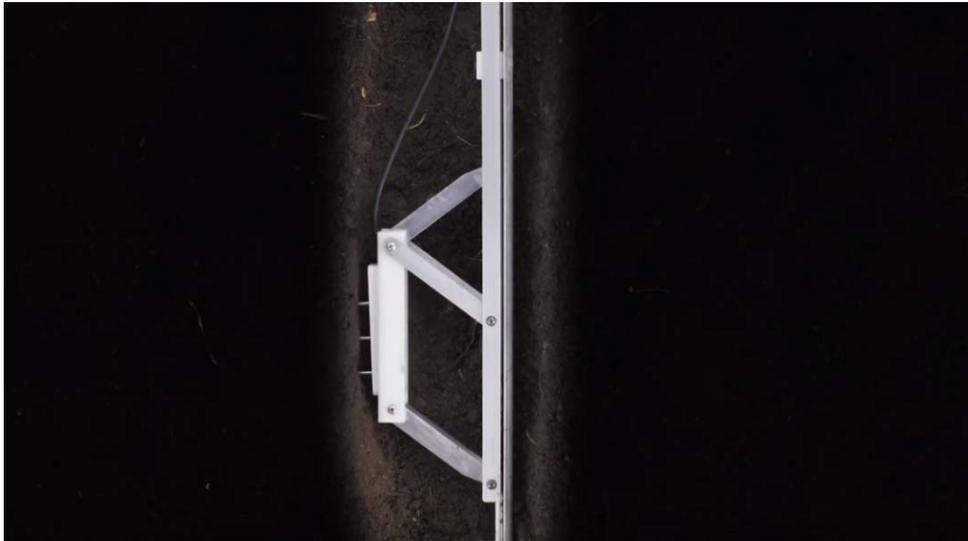
MATERIAL	PERMISSIVIDADE DIELÉTRICA
Ar	1
Solos Minerais	3 - 7
Matéria Orgânica	2 - 5
Gelo	5
Água	80



VOLUMES DE INFLUÊNCIA



MÉTODOS DE INSTALAÇÃO



POTENCIAL HÍDRICO DO SOLO

POTENCIAL HÍDRICO

Definição técnica é complicada

Qualitativo, não quantifica

Na prática medir potencial hídrico é como tirar a temperatura da planta

Tem relação com a disponibilidade da água presente para utilização da planta



POTENCIAL HÍDRICO

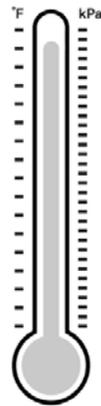


Muito quente



Ótimo

Muito frio

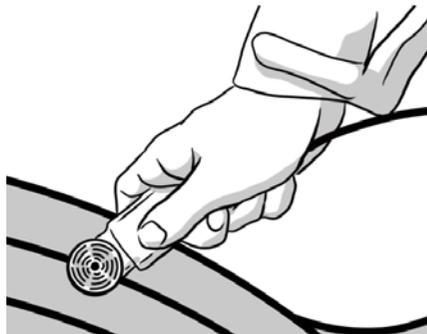


Muito seco

Ótimo



Muito úmido



VANTAGENS:

- Transferível entre solos
- Complementa a umidade



LIMIARES

Valor de cheio e de reabastecimento

Baseado em potencial hídrico

Cheio: -10 a -30 kPa de potencial hídrico

Reabastecimento: -100 kPa

Baseado em conteúdo de água

Cheio: umidade em -10 a -30 kPa de potencial hídrico

Reabastecimento: umidade em -100 kPa

Diferente para cada solo



LIMIARES E A FISIOLOGIA VEGETAL

- Ponto de murcha permanente das plantas – referência em 1500 kPa
- Potencial hídrico do solo sempre maior que do resto do Sistema SPA
- Crescimento e síntese celular são reduzidas ao redor de -100 kPa
- Transpiração e fotossíntese são reduzidas ao redor de -1000 kPa





MEDIR O POTENCIAL HÍDRICO É COMO MEDIR A
TEMPERATURA DA PLANTA



Cultura **Potencial Hídrico (kPa)**
(Faixa na qual a planta está mais confortável)

Morango	-20 a -30
Aipo	-20 a -30
Laranja	-20 a -100
Batata	-30 a -50
Ervilhas de Conserva	-30 a -50
Gramma	-30 a -100
Banana	-30 a -150
Melão	-35 a -40
Alface	-40 a -60
Limão	-40
Uvas	
Início da estação	-40 a -50
Durante maturação	< -100
Cebolas	
Crescimento inicial	-45 a -55
Desenvolvimento do bulbo	-55 a -65
Brócolis	
Início	-45 a -55
Após gemulação	-60 a -70
Abacate	-50
Cenoura	-55 a -65
Repolho	-60 a -70
Couve-flor	-60 a -70
Feijão (vagem e de-lima)	-75 a -200
Tomate	-80 a -150
Alfafa	-150
Cenoura	
Durante ano de semeadura em 60 cm profundidade	-400 a -600
Cebolas	
Durante ano de semeadura em 7 cm profundidade	-400 a -600
em 15 cm profundidade	-150
Grãos Pequenos	
Período vegetativo	-40 a -50
Durante amadurecimento	-800 a -1200
Milho	
Período vegetativo	-50
Durante amadurecimento	-800 a -1200

Taylor, Sterling A., and Gaylen L. Ashcroft. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. 1972.



CURVAS DE IRRIGAÇÃO

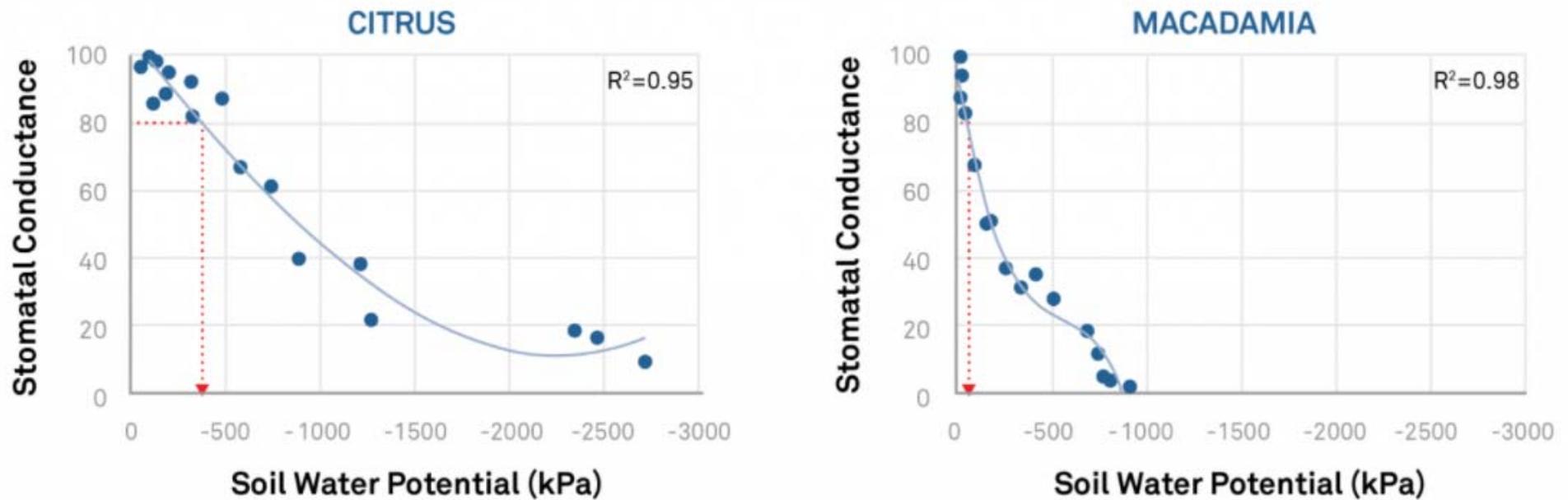


Figure 2. Irrigation curves for citrus and macadamia based on soil water potential measurements. The dashed red line indicates P80 value for citrus (-386 kPa) and macadamia (-58 kPa).



CURVAS DE IRRIGAÇÃO

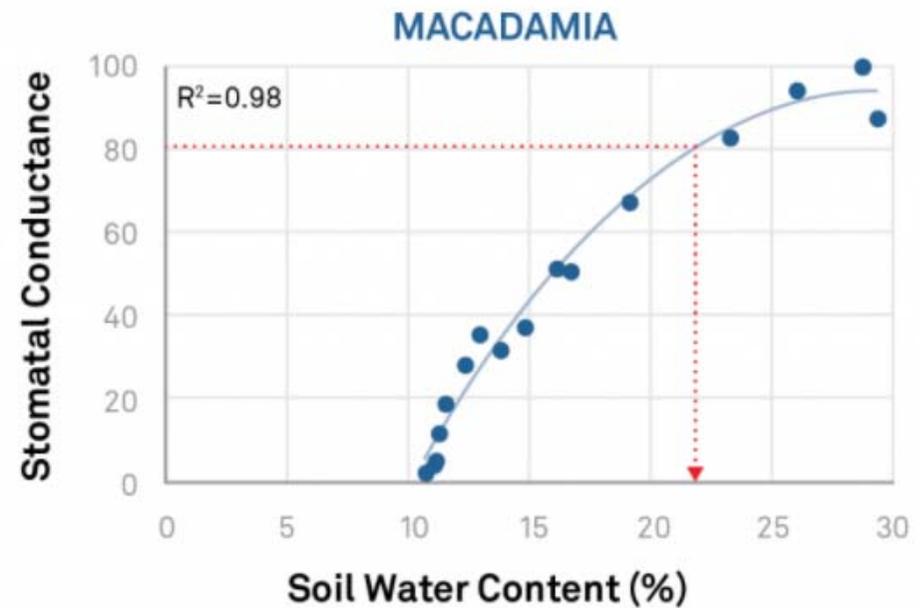
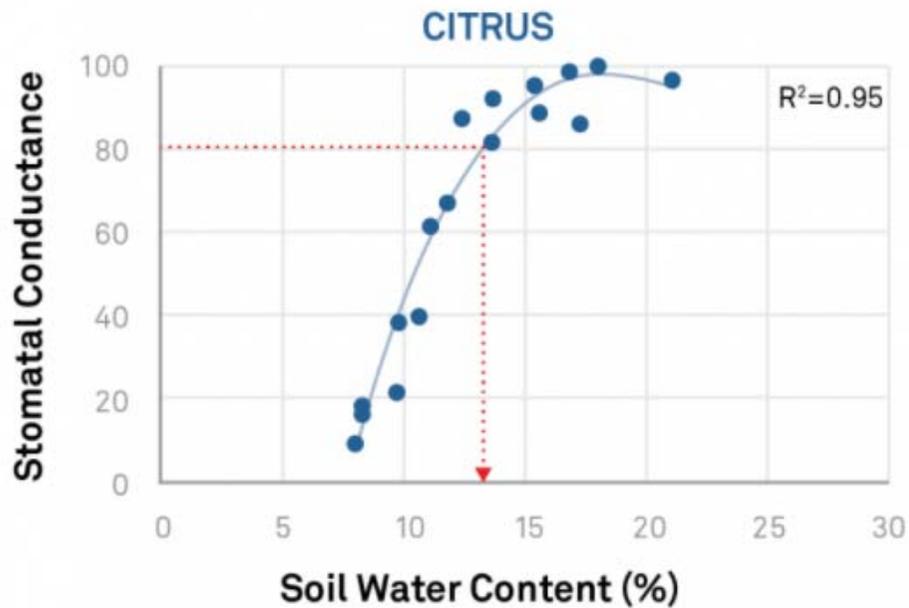


Figure 3. Irrigation curves for citrus and macadamia based on soil volumetric water content measurements. The dashed red line indicates P80 value for citrus (13.2 %) and macadamia (21.7 %).



EXEMPLO - BATATAS

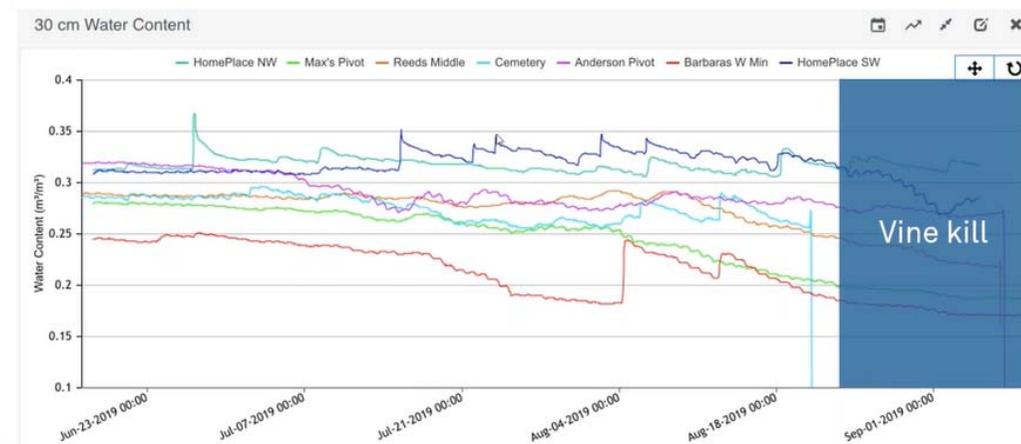
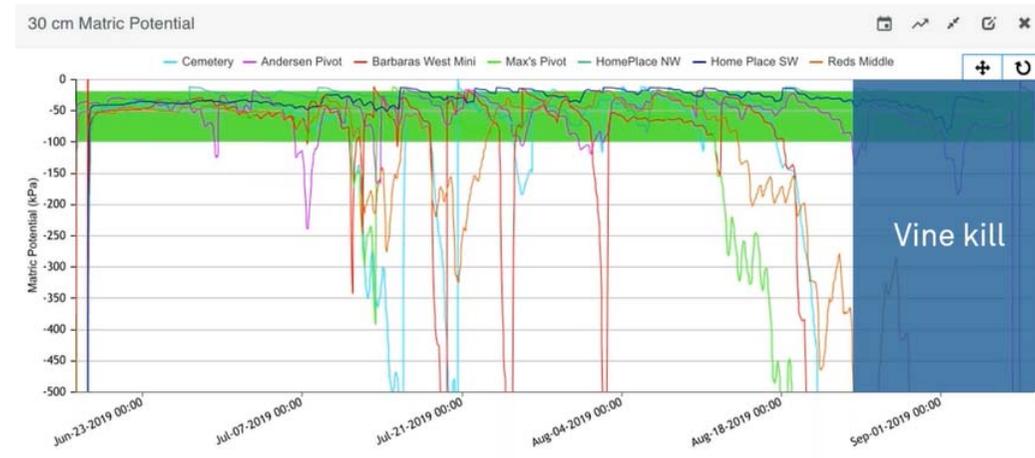
Alcançou redução de água em 38%

Melhorou rendimento

Ganhou em qualidade – menor apodrecimento

PRODUTIVIDADE - 2020

Local	Dias sob estresse	Produt. (Mg/ha)
9	42	31.47
12	53	32.77
10	44	37.44
11	0	39.67
6	0	40.08
7	16	40.33



SENSOR DE CAPACITÂNCIA

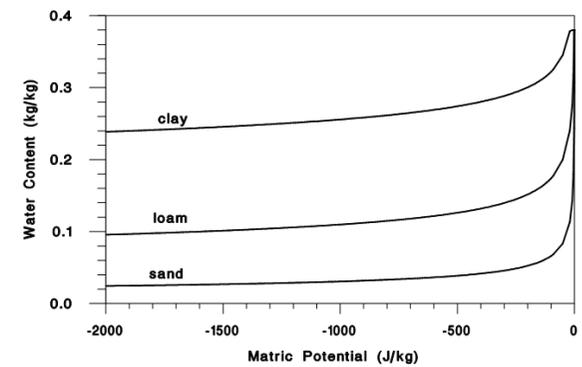
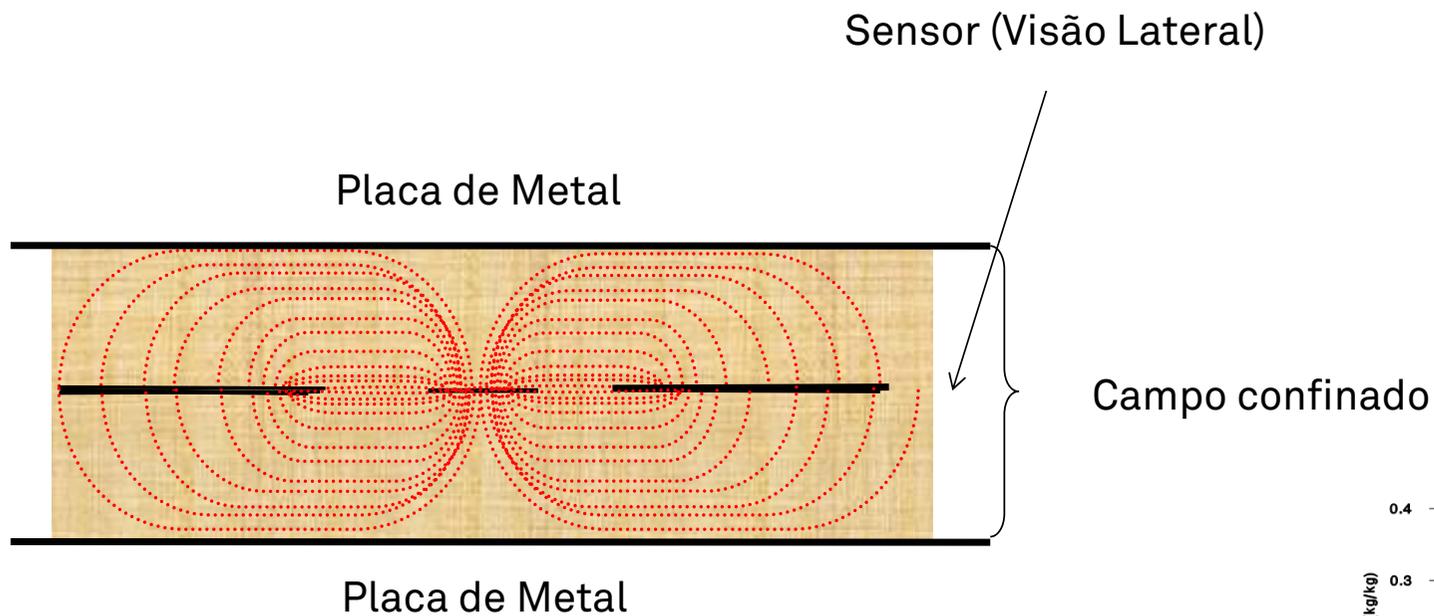
Matriz padrão equilibra com o solo

Conteúdo de água da matriz é medida pela capacitância

Estável (insensível a sais e dissolução)



CAPACITÂNCIA



TENSIÔMETROS

- Equilibra a água sob tensão com o solo através de um material poroso
- Mede a tensão da água
- Melhor precisão de todos os sensores na faixa úmida
- Limitado a potenciais de 0 a -0,09 MPa
- Requer significativa manutenção



PORÔMETRO

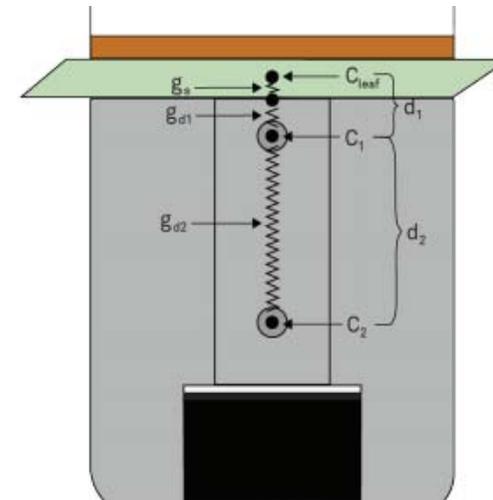
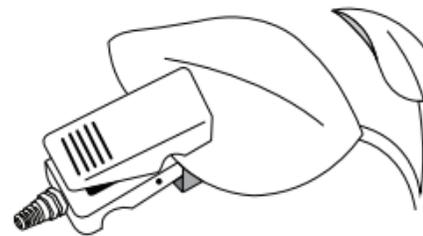


Figure 42 Diagram of SC-1 measurements

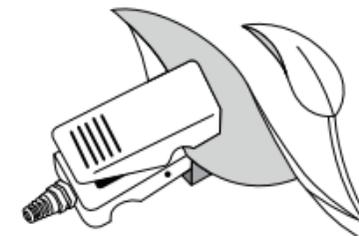
The parameters listed in Figure 42 represent the following:

- C_{leaf} = mole fraction of vapor inside the leaf
- C_1 = mole fraction of vapor at node 1
- C_2 = mole fraction of vapor at node 2
- g_s = stomatal conductance of the leaf surface
- g_{d1} = vapor conductance of the diffusion path between leaf surface and node 1
- g_{d2} = vapor conductance of the diffusion path between node 1 and node 2
- d_1 = distance between the leaf surface and the first RH sensor
- d_2 = distance between the two RH sensors

ABAXIAL (BOTTOM)



ADAXIAL (TOP)



CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

POR QUE MEDIR CE?

Água de irrigação sempre contém sais.

Se acumularem na zona da raiz podem danificá-las e reduzir produtividade

Água pura não conduz eletricidade. Os sais dissolvidos a tornam condutora

Medir CE é muito eficiente para medir a concentração de sais na água do solo

Sensibilidade das culturas é variada



TRÊS FORMAS DE CE

CE da solução dos poros: É a CE da água dos poros do solo/substrato. Seria ideal poder medir *in situ*, porém a única maneira é de extrair amostras de água e medir a CE. Não confundir com a CE medida com sensores *in situ*. É a CE que diretamente afeta as plantas (potencial osmótico).

CE aparente: é a CE do sistema todo (solo, água e ar). É a única CE que podemos monitorar continuamente *in situ*, e que por equações poderiam estimar as outras duas CEs. Sozinha não é muito útil para caracterizar o status salino do solo, pois sofre interferência do conteúdo de água e características físicas do solo.

CE do extrato de saturação: é o método tradicional, que representa exatamente quanto de sal existe no solo e pode ser convertido para salinidade do solo. Faz-se uma pasta saturada do solo com água deionizada e medindo a CE da solução extraída. Nos diz quais culturas podem se desenvolver.



CE DO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Extrato de saturação (dS/m)	Sal no solo (g sal/100g solo)	Potencial osmótico (kPa)	Tolerância da cultura	Exemplo de cultura
0-2	0-0,13	0 a -70	Sensível	Feijão
2-4	0,13-0,26	-70 a -140	Moderadamente sensível	Milho
4-8	0,26-0,51	-140 a -280	Moderadamente sensível	Trigo
8-16	0,51-1,02	-280 a -560	Tolerante	Cevada

Classes de salinidade para solos (Richards, L.A. [Ed]. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, USDA AG Handbook 60, Washington DC)



CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

	CE do extrato de saturação	CE aparente	CE da solução dos poros
Definição	A CE da solução extraída de uma amostra de solo saturada	A combinação da CE do solo, ar e água em substrato poroso	A CE da solução contida nos poros do solo
Aplicações	Gerenciamento de sais em agricultura no campo	Quando se precisa de medições contínuas. Usada para calcular as outras CE's	Aplicações em estufas e viveiros
Benefícios	Medida quantitativa dos sais no solo (salinidade do solo)	Pode ser medido direto no campo , contínua ou pontualmente	Mede o que a planta de fato está vivenciando
	Melhor CE para determinar a adequação da cultura ao solo	Pode ser usada junto com umidade para modelar outras CE's	Quantifica o sal transportado pela drenagem

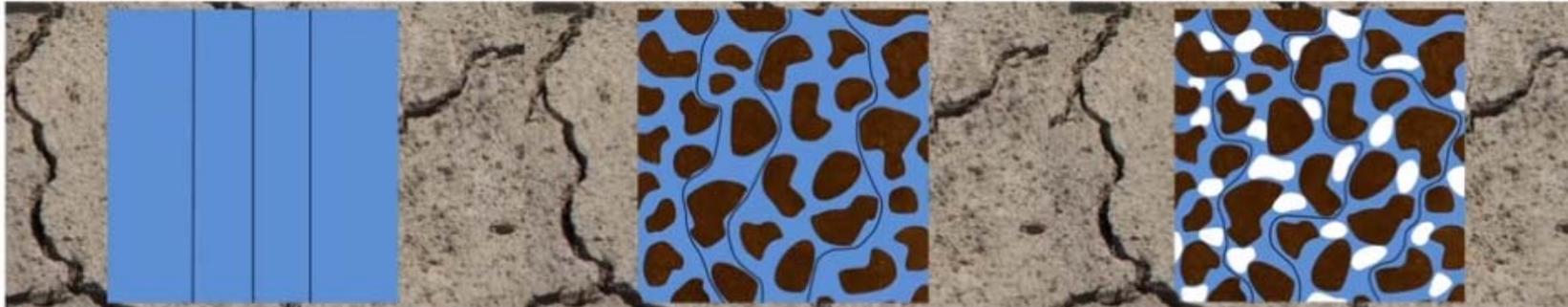


RELAÇÃO ENTRE CE

Apenas solução de irrigação

Saturando o solo

Na capacidade de campo



$$EC_b = EC_w$$

$$EC_b \sim EC_w/3$$

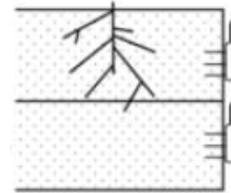
$$EC_b \sim EC_w/10 \text{ a } 20$$



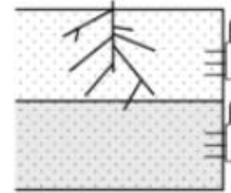
APLICAÇÃO – ACÚMULO DE SAIS



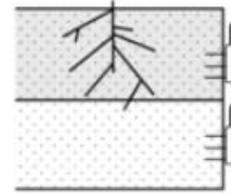
Zona radicular
Zona abaixo da raiz



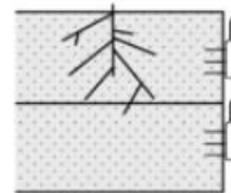
Sem acúmulo de sais na zona radicular
Possivelmente muita drenagem



Acúmulo de sais abaixo da zona radicular
Condição ótima



Acúmulo de sais somente na zona radicular
Irrigação necessária para empurrar os sais no perfil



Acúmulo de sais nas duas regiões
Irrigação necessária para descer os sais

Como os valores de extrato de solução se comparam
Imagem de Stirzaker (2010)



APLICAÇÃO – RASTREIO DE NUTRIENTES



CE da solução dos poros calculada de leituras de CE aparente realizadas em campo.

Percebe-se que o fertilizante fica na zona radicular temporariamente mas é lixiviado – Stirzaker (2010)



APLICAÇÃO – FRAÇÃO DE LIXIVIAÇÃO



$$EC_{\text{irrig}} = 0.5 \text{ dS/m}, EC_{\text{drain}} = 4 \text{ dS/m}$$
$$D_{\text{irrig}} = 20 \text{ cm}, D_{\text{rain}} = 5 \text{ cm}$$



Convertido
para CE da
solução



$$EC_{\text{appl}} = EC_{\text{irrig}} * \frac{D_{\text{irrig}}}{D_{\text{rain}} + D_{\text{irrig}}} = 0.5 * \frac{20}{5 + 20} = 0.4 \text{ dS / m}$$

$$D_{\text{drain}} = D_{\text{appl}} * \frac{EC_{\text{appl}}}{EC_{\text{drain}}} = 25 * \frac{0.4}{4} = 2.5 \text{ cm}$$

Fração de lixiviação: 10%
Lâmina drenada de 2,5cm abaixo da zona radicular



QUAIS DÚVIDAS PODEM SER RESPONDIDAS



TEROS 21
Sensor de potencial mátrico



TEROS 12
Sensor de umidade,
temperatura e CE do solo



ES-2
Sensor de CE de soluções

- Quanto tem de água no solo?
- Esta água está disponível para a planta?
- Quando irrigar?
- Quanto irrigar?
- Qual a salinidade atual do solo?
- Qual a CE da solução de entrada?
- Como gerenciar o acúmulo de sais?

Muito Obrigado!

E-MAIL: agraria@metergroup.com

TELEFONE: (12) 3307-1003 – Ramal 32

ACOMPANHE NOSSAS REDES SOCIAIS



[instagram.com/metergrouplatam](https://www.instagram.com/metergrouplatam)



[youtube.com/metergrouplatam](https://www.youtube.com/metergrouplatam)



[facebook.com/metergroupbr/](https://www.facebook.com/metergroupbr/)



[linkedin.com/company/metergrouplatam](https://www.linkedin.com/company/metergrouplatam)



twitter.com/metergrouplatam

