

## CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE NA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE CAPACIDADE DE CAMPO

P. F. Silva<sup>1</sup>, R. M. Matos<sup>2</sup>, V. E. Borges<sup>3</sup>, T. Galvão Sobrinho<sup>4</sup>,  
A. S. Lima<sup>5</sup>, J. Dantas Neto<sup>6</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se com este estudo, avaliar a utilização das ferramentas do controle estatístico de qualidade na determinação da umidade de capacidade de campo em um neossolos flúvicos. O experimento foi conduzido em condições de campo no município de Santa Luzia – PB. Utilizou-se delineamento estatístico em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 9 com três repetições, os fatores consistiram de quatro métodos de determinação da umidade de capacidade de campo (método padrão da estufa, forno elétrico, sonda FDR e tensiômetro) e nove tempos de coleta (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 e 192 horas). A leitura de umidade feita com 0 horas estar fora do controle de qualidade em todos os métodos de determinação. A capacidade de processo CP e o índice de capacidade potencial Cpk foram muito abaixo do recomendado, indicando que os métodos diferem nas leituras, subestimando ou superestimando, estando fora de controle. O controle estatístico de qualidade junto com o índice de capacidade do processo não são ferramentas capazes de diagnosticar se os métodos de determinação da umidade de capacidade de campo são confiáveis em função da variabilidade inerente a cada método e ao tipo de solo estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** carta de Shewhart, Sonda FDR, tensiometria.

## STATISTICAL CONTROL OF QUALITY IN THE MOISTURE DETERMINATION OF FIELD CAPACITY

**SUMMARY:** The objective of this study was to use the tools of statistical quality control in the determination of the moisture of field capacity in a neossolos flúvicos. The experiment was conducted under field conditions in the municipality of Santa Luzia - PB. A randomized complete block design was used in a 4 x 9 factorial scheme with three replications, the factors

<sup>1</sup> Pós-Doutoranda PPGRN/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: patrycyafs@yahoo.com.br;

<sup>2</sup> Doutorando, UAEG/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: rigobertomoreira@gmail.com;

<sup>3</sup> Mestranda, UAEG/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: kecis.borges@hotmail.com;

<sup>4</sup> Acadêmico, UAEG/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: tgs\_galvao@hotmail.com;

<sup>5</sup> Doutorando, UAEG/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: suassunaagro@gmail.com;

<sup>6</sup> Prof. Dr, UAEG/CTR/UFCEG. Campina Grande - Paraíba. email: zedantas1955@gmail.com.

consisted of four methods of determination of the field capacity humidity (standard oven method, electric furnace, FDR probe and tensiometer) and nine Collection (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 and 192 hours). The moisture reading done with 0 hours is out of statistical quality control in all determination methods. The CP process capability and the Cpk potential capacity index were well below the recommended, indicating that the methods differ in the readings, underestimating or overestimating, being out of control. The statistical quality control along with the process capability index are not tools capable of diagnosing whether the methods of determining the capacity of the field capacity are reliable due to the inherent variability of each method and the type of soil studied.

**KEY WORDS:** Shewhart chart, FDR probe, tensiometry.

## INTRODUÇÃO

A determinação do teor de água no solo é de grande relevância em várias circunstâncias na agricultura e é imprescindível para se conhecer o momento correto das operações de preparo do solo como a mecanização agrícola e o monitoramento de forma adequada do manejo da irrigação, deve-se atentar ainda que este manejo deve levar em consideração a profundidade do sistema radicular das plantas (Soares et al., 2010).

De acordo com Kaiser et al. (2010) a umidade do solo é um atributo que influencia tanto a porosidade quanto suscetibilidade dos solos à compactação, sendo desta forma necessários equipamentos que permitam o monitoramento espacial e temporal, de forma a causar menos impactos a rizosfera.

Klein (2008) relata que são diversos os métodos de determinação do teor de umidade dos solos tais como: padrão da estufa, forno elétrico, tensiometria, sonda TDR e FDR, e vários outros, entre eles métodos diretos e indiretos, alguns demorados, ou mesmos caros, no entanto, são considerados imprecisos em decorrência das características diferenciadas de cada tipo de solo (Fonseca et al., 2009).

O controle estatístico de processos (CEP) consiste em um conjunto de ferramentas benéficas para a resolução de problemas visando à estabilidade do processo e com isso aumentando a capacidade dos processos através da diminuição da variabilidade (Montgomery, 2009).

De acordo com Tessaro (2012) o controle estatístico de processo é uma ferramenta aplicada a experimentos científicos, visando avaliar qualidade de um produto ou mesmo de um

processo e apresentar suas variações, sejam elas positivas ou mesmo negativas, para que seja possível gerar informações que melhorem a qualidade de um determinado processo.

A capacidade de processo é capaz de gerar informações e verificar se o processo está dentro de um padrão aceitável de qualidade, isto é, dentro das especificações exigidas pelo consumidor, parâmetros que interferem no rendimento (Montgomery, 2009; Silva et al., 2015; Silva et al., 2016). Deste modo, a determinação da umidade de capacidade de campo por diferentes métodos deve ser analisada visando identificar qual método encontra-se dentro do controle de qualidade, auxiliando no correto manejo da irrigação das culturas.

Dada à relevância da temática, objetivou-se com o presente estudo avaliar a utilização das ferramentas do controle estatístico de qualidade na determinação da umidade de capacidade de campo em um neossolos flúvicos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em condições de campo na fazenda Poço Redondo, município de Santa Luzia - PB. O município está localizado na microrregião do Seridó ocidental paraibano, com coordenadas geográficas: 06° 52' 27" de Latitude, 36° 56' 00" de Longitude e altitude média de 299 m. A região está inserida no Polígono das Secas e situa-se na Mesorregião da Borborema. O clima local é do tipo Bsh-Tropical, quente seco, semiárido com chuvas de verão.

O solo da área experimental é do tipo Neossolos Flúvicos, com textura franco-arenosa, solo este derivado de sedimentos aluviais e com uma grande variação nas características físicas, químicas e morfológicas em função da disparidade do material de origem (EMBRAPA, 2013).

Para determinação da capacidade de campo delimitou-se uma área de 4 m<sup>2</sup> cercada por um dique de 0,10 m de altura (bacia de saturação). Em seguida, procedeu-se a saturação do solo, posteriormente revestido com lona plástica para evitar perdas de água por evaporação. Após a saturação do solo foi realizada as coletas deformadas das amostras e armazenadas em cilindros de alumínio pesadas e fechadas para evitar a perda de água.

Utilizou-se delineamento estatístico em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 9 com três repetições, os fatores consistiram de quatro métodos de determinação da umidade de capacidade de campo (método padrão da estufa, forno elétrico, sonda FDR e tensiômetro) e nove tempos de coleta (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 e 192 horas).

Para os métodos diretos coletaram-se as amostras e estas foram levadas ao laboratório para determinação dos teores de umidade pelas fontes de aquecimento, estufa padrão e forno

elétrico. No método da estufa padrão, as amostras coletadas foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 105 °C durante 24 horas, enquanto que no forno elétrico as mesmas foram submetidas à secagem por 35 minutos a uma temperatura de 105 °C.

No momento da coleta realizou-se a pesagem das amostras e depois de ser submetido às fontes de aquecimento foram pesadas novamente, com o auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01 g. Após a secagem do material de solo determinou-se o teor de umidade em volume, através da equação 1.

$$\%U \text{ volume} = \left( \frac{M1-M2}{M2-M3} \right) * 100 * Da \quad (1)$$

Em que: M1 – Peso do solo úmido e do recipiente; M2 – Peso do solo seco e do recipiente; M3 – Peso do recipiente; e Da – densidade aparente do solo da área em estudo, 1,56 g cm<sup>3</sup>.

Encontrou-se a capacidade de campo, nos diversos métodos estudados, quando se estabilizou a variação da umidade volumétrica com o tempo para diferentes profundidades.

Para a aplicação das ferramentas fornecidas pelo controle estatístico de processo, ressalta-se a necessidade em se determinar a normalidade dos dados através do teste de Kolmogorov-Smirnov, com a modificação de Lilliefors, em seguida aplicada as etapas do controle estatístico de processo através dos gráficos de controle de Shewart de amostras individuais, com auxílio do programa computacional Software Minitab 16.

Por meio do gráfico denominado “X - R” foi feito o monitoramento do valor médio (X) e sua variabilidade, cujo modelo utiliza a média aritmética dos valores resultantes das medições realizadas de forma amostral, como medida de posição do processo, fixando três desvios-padrões acrescidos à média e definindo o Limite Superior de Controle (LSC), conforme a Equação 2, e três desvios-padrões decrescidos à média, conforme Equação 3, definindo o Limite Inferior de Controle (LIC) do processo; assim, a linha central representa o valor médio da qualidade, que corresponde ao estado sob controle (Lima et al., 2006).

$$LSC = X + 3\sigma \quad (2)$$

$$LIC = X - 3\sigma \quad (3)$$

Em que: LSC = Limite Superior de Controle; X = é a linha central do gráfico de controle e corresponde ao valor médio das vazões;  $\sigma$  = é o estimador do desvio-padrão populacional; LIC = Limite Inferior de Controle.

Posteriormente determinou-se a razão de capacidade de processo estimada ( $\hat{C}_p$ ), utilizando-se as equações 4 e 5, e se elaboraram ( $C_{pk}$  e  $C_{pl}$ ) gráficos para analisar a capacidade

dos processos e sua centralidade  $\hat{C}_p$  para os diferentes métodos de determinação da capacidade de campo.

$$\hat{C}_p = LSE - LIE * 6\bar{\sigma}^{-1} \quad (4)$$

$$\bar{\sigma} = \bar{R} (d_2)^{-1} \quad (5)$$

Em que:  $6\bar{\sigma}^{-1}$  é a capacidade do processo; R ou MR = amplitude média;  $d_2$  = fator para a linha central;  $\hat{C}_p$  = é uma estimativa de  $C_p$ ; LSE = Limite superior de especificação; LSI= Limite inferior de especificação.

Quando o processo se encontra estável aplica-se o  $C_{pk}$  (processos unilaterais) que é definido de acordo com as equações 6 e 7,  $C_{pk}$  equação 8, é o menor valor entre  $CP_s$  e  $CP_i$ .

$$CP_s = \frac{[LSE - \bar{X}]}{3\sigma} \quad (6)$$

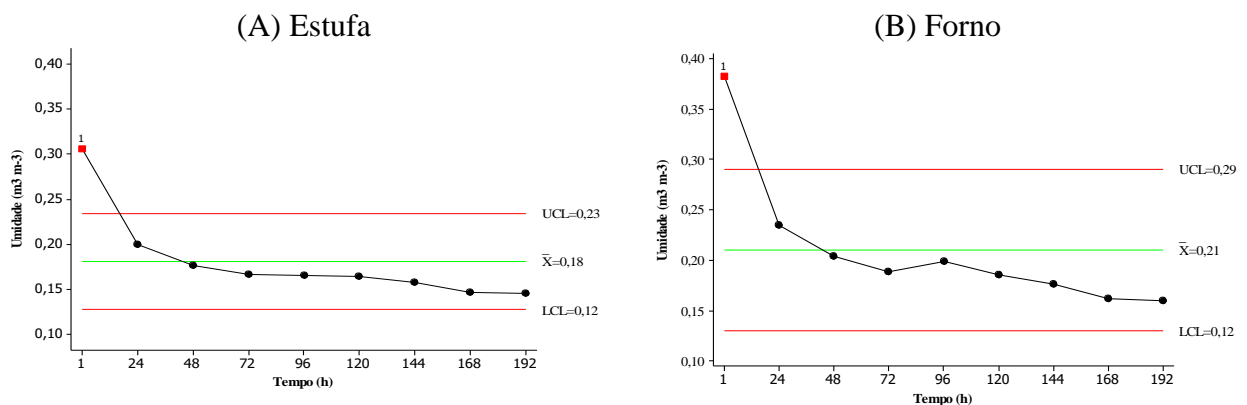
$$CP_i = \frac{[LIE - \bar{X}]}{3\sigma} \quad (7)$$

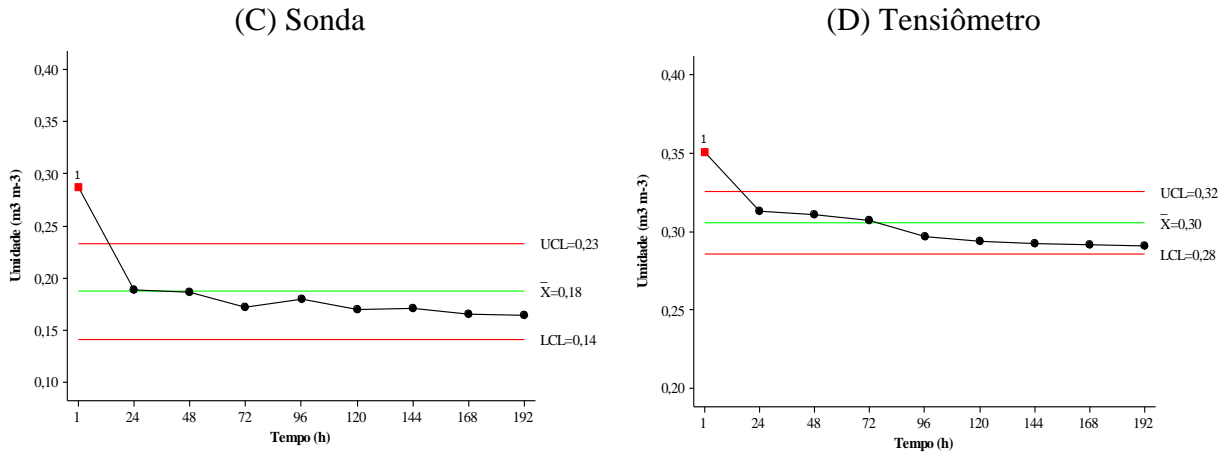
$$Cp_k = CP_i; CP_s) \quad (8)$$

Em que:  $\bar{X}$  = média; LSE = Limite superior de especificação; LIE = Limite inferior de especificação;  $CP_s$  = Capacidade de processo do LSE;  $CP_i$  = Capacidade de processo do LIE.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medida do teor de umidade do solo individual ao longo do tempo de coleta das amostras para os diferentes métodos de determinação de umidade do solo se encontra na Figura 1. Nota-se que em todos os métodos de determinação de umidade do solo o primeiro ponto encontra-se acima do limite superior de controle evidenciando que o processo está fora de controle (Figura 1A, B, C e D). Este fato, possivelmente ocorreu em decorrência de ter passado apenas uma hora após a saturação do solo e o mesmo ainda estava encharcado.





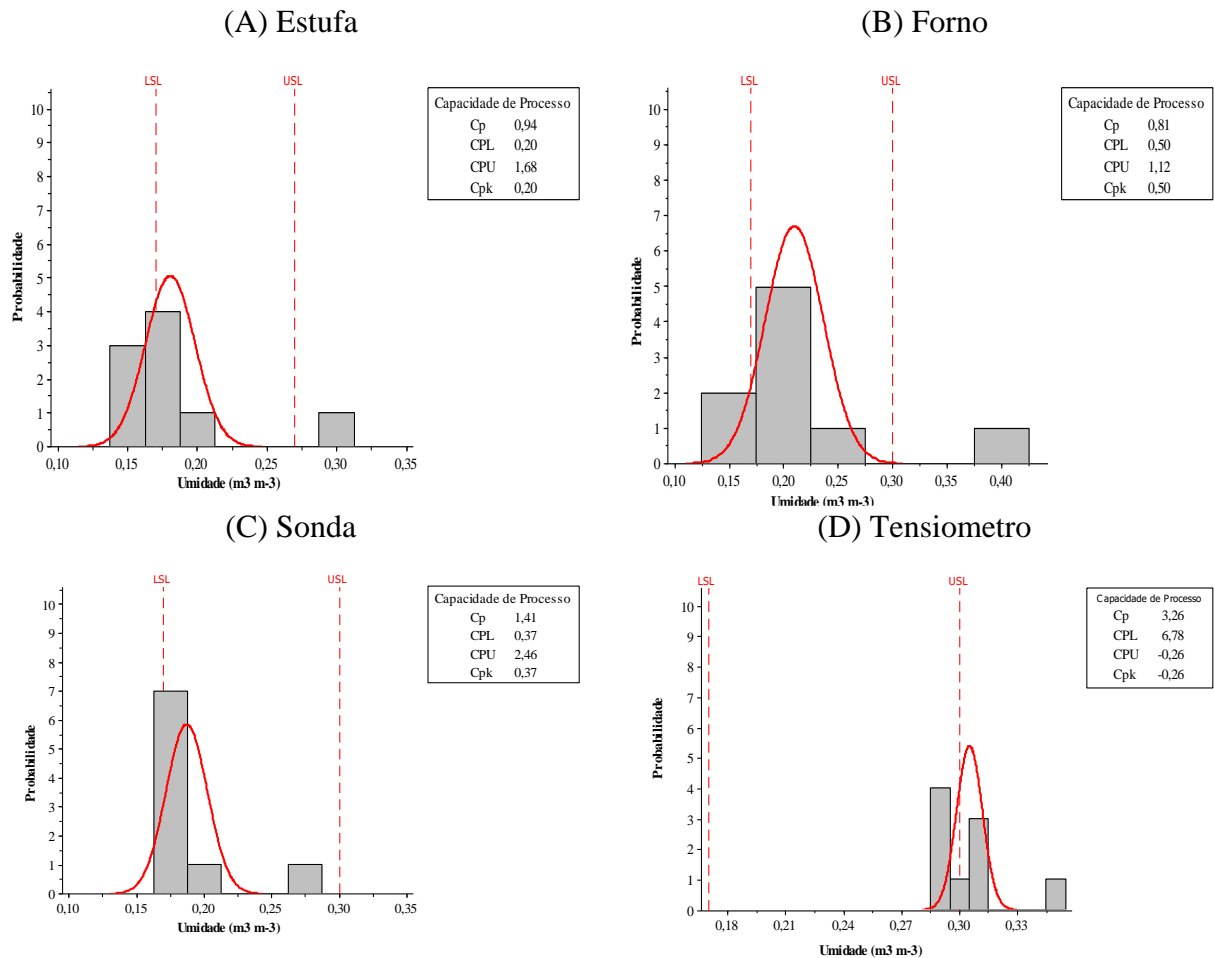
**Figura 1.** Cartas de controle de medidas individuais para umidade do solo para o método da estufa (A), Forno elétrico (B), Sonda FDR (C) e tensiômetro (D) em função do tempo de coleta das amostras.

Houve ainda uma sequência dos dados de 48 até 192 horas de coleta com pontos abaixo da linha média; logo, tais processos foram considerados como fora de controle estatístico de qualidade, tais observações que podem ser fruto de uma ou poucas causas associadas que produzem grandes variações no processo e ocorrem em decorrência de desvios do comportamento “normal” do processo e por falta de avaliação pontual concordando com os critérios preconizados por Werkema (1995).

De acordo com Buske et al. (2014) os métodos de determinação de umidade do solo possuem divergências entre suas confiabilidade, que podem variar de acordo com o equipamento, o horário de medição, o observador ou mesmo por falta de calibração dos equipamentos utilizados.

Estas variações segundo Montgomery (2009) e Werkema (1995) são um indicativo da falta de controle de um processo devido a causas especiais, em que a melhoria da qualidade pode, em grande parte, ser atingida através de ações locais que não envolvem investimentos significativos, isto é, existe um ponto em que precisa de manutenção para que o método de determinação da umidade do solo ou mesmo o equipamento utilizado possa ser utilizado de forma eficiente.

O índice de capacidade de processo para os diferentes métodos de determinação da umidade do solo em função do tempo de coleta dos dados encontra-se na Figura 2. Observa-se que para todos os métodos de determinação de umidade do solo o Cp e Cpk estão abaixo dos valores mínimos recomendados por Montgomery (2009) para considerar um processo como capaz, desta forma todos os métodos foram considerados como incapazes (Figuras 2A, B, C e D).



**Figura 2.** Histogramas da Capacidade de processo ( $C_p$ ) e sua centralidade ( $C_{pk}$ ) para o método Estufa (A), Forno elétrico (B), Sonda FDR (C) e tensiômetro (D) em função do tempo de coleta das amostras.

Quando o  $C_p$  e  $C_{pk}$  são menor que 1 a capacidade do processo é considerada inadequada ou incapaz, sendo recomendado ajustes em alguns parâmetros de determinação do processo (Lopes, 2007; Montgomery, 2009). Já Segundo Werkema (1995), um processo pode não ser capaz por apresentar elevada variabilidade ou a média estar deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação.

Souza et al. (2007) notaram, em estudo desenvolvido em uma indústria de fundição pelo índice de capacidade de processo, que este era incapaz, concordando com os dados obtidos no presente estudo, visto que o valor calculado ficou abaixo de 1; os autores concluíram, então, que o processo esteve, durante a maior parte do tempo, em controle, porém se mostrou incapaz produzindo uma quantidade significativa de itens defeituosos.

Resultados quanto à viabilidade da utilização do controle de qualidade foram encontrados por Chen et al. (2007) que afirmaram, após estudar a capacidade do processo para medidas unilaterais, que este índice, utilizando gráficos de controle, pode ser usado não apenas para

monitorar a estabilidade do processo mas também para monitorar sua qualidade, acompanhando índices de especificação e avaliando sua estabilidade.

Neste contexto, a utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de se determinar onde estão os problemas e de se encontra meios para solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade, ao mesmo tempo (Lima et al., 2006).

## **CONCLUSÕES**

A capacidade de processo CP e o índice de capacidade potencial Cpk foram muito abaixo do recomendado, indicando que os métodos diferem nas leituras, subestimando ou superestimando, estando fora de controle.

O controle estatístico de qualidade junto com o índice de capacidade do processo não são ferramentas capazes de diagnosticar se os métodos de determinação da umidade de capacidade de campo são confiáveis em função da variabilidade inerente a cada método e ao tipo de solo estudado.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de pós-graduação.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. DE V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. Irriga, Butucatu, v.19, n.2, p. 315- 329, 2014.

CHEN, K.S.; HUANG, H.L.; HUANG, C.T. Control charts for one-sided capability indices. Quality & Quantity, v.41, p.413-427, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.



FONSECA, S.O., ARAÚJO, G.L., FARIA, B.H.G., LIPARIZI JUNIOR, A., COSTA, J., REIS, E.F.. Avaliação do método do forno elétrico para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. IN: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009. Anais eletrônicos...[S.l.], 2009. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/RE\\_0213\\_0309\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0213_0309_01.pdf)>. Acesso em: 10 junho. 2017.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; MINELLA, J.P.G. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n.3, p. 649-658, 2010.

KLEIN, V. A. Física do Solo – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. Revista Ciência Farmácia Básica Aplicada. v. 27, p. 177-187, 2006.

LOPES, L. F. D. Controle estatístico de processo – Apostila. Santa Maria: DE – CEEMQ - UFSM, 2007. 70p

MONTGOMERY, D.C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – Rio de Janeiro: LTC, 4 ed., reimpressa. 2009. 513p.

SILVA, P. F.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A.; SANTOS, D. B.; RIBEIRO, P. H. Evaluation Of self compensating emitters irrigating with saline water: part ii: process capability index1. Revista de Engenharia Agrícola. v.36, n.6, p.1086-1095, 2016.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; LIMA, S. C.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. Controle Estatístico E Índice De Capacidade De Processo Em Emissores Autocompensante Utilizando Água Salina. Journal of Agronomic Sciences, v.4, n.1, p.139-150, 2015.

SOARES, F. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; RAMÃO, C. J.; GISELE VIVAN, A. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. Irriga, v. 15, n. 1, p. 36-50, 2010.

SOUZA, T. V.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F.; PEREIRA, F. A. C.; LEDO, C. A. S. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com diferentes combinações de fontes nitrogenadas. Irriga, v. 12, p. 563-574, 2007.

TESSARO, E. Efeito da carga hidráulica na uniformidade da irrigação e fertirrigação em sistema de gotejamento. Cascavel: UNIOESTE. 2012. 80p. Dissertação de Mestrado.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas da qualidade: ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: FCO - UFMG, 1995. 404 p.