EVANILSON PAULINO DA SILVA

SUBSOLAGEM E IRRIGAÇÃO EM CANA SOCA SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO

RECIFE-PE

2016

EVANILSON PAULINO DA SILVA

Engenheiro Agrônomo

SUBSOLAGEM E IRRIGAÇÃO EM CANA SOCA SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora:

Profª. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

RECIFE-PE

2016

Silva, Evanilson Paulino da.
Subsolagem e irrigação em cana soca sob doses crescentes de nitrogênio/ Evanilson Paulino da Silva.--Recife, 2016.
Xf.

Orientador (a): Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife 2016.

1.Cana de açúcar 2.Subsolador 3.Adubação 4.Aspersão 5.Argissolo

SUBSOLAGEM E IRRIGAÇÃO EM CANA SOCA SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO

Evanilson Paulino da Silva

Dissertação defendida e aprovada em 25 de novembro de 2017 pela banca examinadora:

ORIENTADORA:

_____

Profª Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida (CODAI/UFRPE)

Presidente

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Fernando José Freire (DEPA/UFRPE)

Membro

_____

Dr. Alexandre Hugo Cezar Barros (EMBRAPA/UEP Solos-Recife)

Membro

A Deus, por ter me guiado até aqui, sempre com seu braço forte.

OFEREÇO

A Josefa Maria, minha mãe, Edmilson Paulino, meu pai, e a toda minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me sustentado e sustentar-me em todos os momentos, guiando cada passo da minha trajetória;

Aos meus pais, Josefa Maria e Edmilson Paulino, por terem sido e serem os meus principais professores na escola da vida e por nunca terem negado esforços para minha educação e na busca de meus objetivos;

A minha esposa, Nayla Pamella, por sempre ser uma fiel e paciente companheira nos bons momentos, nos momentos difíceis e até nos mais trabalhosos, ajudando-me nos trabalhos de campo;

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola, pela oportunidade;

A Profª Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, pela parceria, amizade, compreensão e confiança depositada em mim desde a iniciação científica até a orientação no mestrado, sendo pessoa de suma importância para o desempenho de um bom trabalho;

Ao Prof. Brivaldo Gomes de Almeida, pela amizade e presteza em transmitir conhecimentos fundamentais no meu percurso acadêmico desde o meu estágio no laboratório de física do solo;

Aos demais professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela rica transferência de conhecimentos;

A Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina, em especial ao coordenador Djalma Euzébio Simões Neto, pela concessão da área experimental e por todo apoio na logística de execução e condução do experimento;

Aos amigos e companheiros de trabalho, Geraldo Correia e José Severino, pelo apoio durante as atividades do trabalho;

Ao amigo e companheiro de experimento Wanderson Oliveira, pela ajuda na execução de atividades fundamentais durante a condução do trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO **8**

LISTA DE FIGURAS **11**

LISTA DE TABELA **12**

INTRODUÇÃO **13**

CAPÍTULO I - Revisão de Literatura **16**

1. Importância da irrigação na socaria da cana de açúcar 16

2. Adubação nitrogenada em socaria de cana de açúcar 17

3. Relação dos atributos físico-hídricos do solo com o cultivo da cana soca 17

3.1. Compactação do solo 17

3.2. Densidade do solo 18

3.3. Resistência do solo à penetração 19

3.4. Condutividade hidráulica do solo 19

3.5. Manejo da subsolagem em socaria de cana de açúcar 20

CAPÍTULO II - Atributos físicos de um argissolo distrocoeso cultivado com soqueira de cana de açúcar irrigada com e sem subsolagem **21**

RESUMO **21**

ABSTRACT **21**

INTRODUÇÃO **22**

MATERIAL E MÉTODOS **23**

RESULTADOS E DISCUSSÕES **35**

CONCLUSÕES **43**

CAPÍTULO III - Qualidade tecnológica e produtividade em soqueira de cana de açúcar irrigada sob diferentes manejos de solo **45**

RESUMO **45**

ABSTRACT **46**

INTRODUÇÃO **46**

MATERIAL E MÉTODOS **49**

RESULTADOS E DISCUSSÃO **52**

CONCLUSÕES **59**

CONSIDERAÇÕES FINAIS **60**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **61**

Silva, Evanilson Paulino da. **SUBSOLAGEM E IRRIGAÇÃO EM CANA SOCA SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO.** Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, 2016.

RESUMO

A irrigação pode exercer grande influência sobre a produtividade da cana de açúcar, porém parte dos canaviais cultivados sob irrigação ainda estão recebendo o manejo inadequado das variedades e do solo. Nesse contexto, é necessário que sejam identificadas práticas de manejo que otimizem o rendimento do canavial e aumentem a longevidade da socaria. Dentre essas práticas, a adequação das doses dos nutrientes fornecidos a cultura após cada corte e o manejo do solo pós-colheita aliadas ao manejo da irrigação, podem auxiliar no incremento de produtividade e longevidade do canavial. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da subsolagem nos atributos físicos de um solo cultivado com cana de açúcar em 3ª folha e os reflexos na capacidade de absorção de água e na produtividade. Os tratamentos foram dispostos em três blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, compostos de cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 t ha^{-1}) em solo com e sem subsolagem, testando-se em condições de sequeiro e irrigado, resultando em dois experimentos. Foram avaliados os seguintes atributos físicos do solo: condutividade hidráulica saturada, resistência do solo à penetração, densidade do solo, curva característica de retenção de água no solo e distribuição dos poros por tamanho. Além disso, foram determinados alguns parâmetros de qualidade tecnológica da cana de açúcar, como a produtividade de colmos, toneladas de ATR por hectare e toneladas de Pol por hectare. Os resultados foram analisados pelo teste F (ANOVA) e os resultados significantes foram analisados pela comparação entre médias usando o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A análise de regressão foi utilizada para avaliar o efeito das doses de nitrogênio. A subsolagem não promoveu aumento significativo na retenção de água. A porosidade total do solo aumentou significativamente apenas em algumas das camadas avaliadas. A densidade do solo subsolado reduziu, enquanto que a condutividade hidráulica do solo aumentou em 50%. Houve redução significativa nos valores de resistência do solo à penetração. Entre as variáveis tecnológicas, apenas a produtividade

apresentou ganhos significativos. A produtividade (TCH) aumentou nas áreas subsoladas com interação significativa com as doses crescentes de nitrogênio, refletindo em aumento linear de produtividade. A subsolagem nas entrelinhas da soqueira mostrou-se, portanto, como uma promissora prática auxiliar na busca pela manutenção do rendimento do canavial.

Palavras chaves: cana de açúcar, subsolador, qualidade física do solo, adubação, sequeiro.

Silva, Evanilson Paulino da. **SUBSOILING AND IRRIGATION IN SUGARCANE RATOON UNDER NITROGEN DOSES.** Dissertation**.** Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, 2016.

ABSTRACT

Irrigation can provide great influence on the productivity of sugarcane, but part of the sugarcane fields under irrigation are still getting inadequate management of varieties and soil. Then, must be identified management that optimize the sugarcane yield and increase the crop longevity. Among these practices, the suitable fertilization after each harvest and the soil management combined with irrigation management, can contribute to increase productivity and longevity of sugarcane. Then, this study aimed to evaluate the effects of subsoiling on soil physical attributes with sugarcane growing after two harvests and on the retention water and productivity. The treatments were arranged in three blocks randomized with arrangement in split plots, composed of five levels of nitrogen (0, 40, 80, 120 and 160 t ha^{-1}) with and without subsoiling, being evaluated under rainfed and irrigated conditions resulting in two experiments. Soil physical properties were evaluated: hydraulic conductivity, penetration resistance, bulk density, water retention curve and pore distribution by size. Additionally, some technological quality parameters of sugarcane were determined, as the productivity of stalks, tons of total reducing sugar per hectare and tons of Pol per hectare. The results were analyzed by F test (ANOVA) and the significant results have been through a comparison of means using the Tukey test, at a level of 5% probability. Regression analysis was used for evaluate nitrogen levels effect. Subsoiling increased the water soil retention and total porosity. The density of the soil subsoiled reduced while, soil hydraulic conductivity increased by 50%. There was significant reduction in soil penetration resistance values. Among the technological variables, only productivity showed significant gains. The N rates favored a linear increase in productivity. Subsoiling proved to be a promising practice to contribute in maintaining the sugarcane yield.

Keywords: sugarcane, subsoiler, soil physic quality, fertilization, rainfed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista geral da área de estudo na Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina (EECAC). 24
Figura 2. Valores de precipitação pluviométrica e evapotranspiração da cultura acumulada mensalmente durante o período do experimento. 25
Figura 3. Subsolagem das entrelinhas de plantio. 27
Figura 4. A- Detalhe das entrelinhas com e sem subsolagem; B- Profundidade da subsolagem. 28
Figura 5. Detalhe da profundidade do furo para a camada de 0-10 cm. 28
Figura 6. Fator de forma de acordo com a relação H/a. 30
Figura 7. Teste de condutividade hidráulica. 30
Figura 8. A- Penetrógrafo posicionado na entrelinha da subparcela. B- Posicionamento adotado durante o teste de RP e coleta de amostra para umidade. 32
Figura 9. Coleta das amostras não deformadas. 33
Figura 10. Comportamento da condutividade hidráulica saturada (Ksat) do solo em profundidade. 36
Figura 11. Comportamento da resistência do solo à penetração em profundidade. 36
Figura 12. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 0-10 cm. 38
Figura 13. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 0-10 cm. 39
Figura 14. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 10-20 cm. 39
Figura 15. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 10-20 cm. 39
Figura 16. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 20-30 cm. 40
Figura 17. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 20-30 cm. 40
Figura 18. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 30-40 cm. 40
Figura 19. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 30-40 cm. 41
Figura 20. Detalhamento da disposição dos tratamentos e dimensões das unidades experimentais. 50
Figura 21. Valores de produtividade (TCH) resultante da interação manejo do solo (com e sem subsolagem) e de umidade (com e sem irrigação). 53
Figura 22. Comparação dos efeitos da subsolagem (A) e da irrigação (B) sobre a produtividade (TCH). 55
Figura 23. Toneladas de Pol por hectare (TPH) em função da presença ou ausência de subsolagem. 56
Figura 24. Açúcares Totais Recuperáveis, em toneladas por hectare (TATRH) em função da presença ou ausência de subsolagem. 56
Figura 25.Regressão linear para a produtividade em função das doses de N, no manejo irrigado. 58
Figura 26.Regressão linear para a produtividade em função das doses de N, no manejo sequeiro. 58

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Valores encontrados para principais parâmetros da análise de solo..... 26
Tabela 2. Valores para o parâmetro α em função do tipo de solo. 30
Tabela 3. Classificação de tamanho de poros conforme Prevedello (1996)..... 34
Tabela 4. Valores de F encontrados e respectivas significâncias para o manejo do solo com subsolagem. 35
Tabela 5. Detalhamento da porosidade do solo sob irrigação nos tratamentos com e sem subsolagem. 41
Tabela 6. Detalhamento da porosidade do solo avaliado sob condição de sequeiro nos tratamentos com e sem subsolagem. 42
Tabela 7. Valores de água disponível do solo sob diferentes manejos de solo. 42
Tabela 8. Valores de densidade do solo submetido aos diferentes tratamentos. 43
Tabela 9. Valores de TCH referentes a interação doses de N e manejo do solo, nas condições irrigadas e de sequeiro. 57

INTRODUÇÃO

A cana de açúcar está presente no cenário agrícola do Brasil desde a época colonial. Durante a evolução do seu cultivo até os dias atuais, essa cultura teve sua importância evidenciada, tanto do ponto de vista social como econômico.

Um levantamento realizado pela CONAB (2016), no mês de agosto, apontou aumento na produção nacional de cana de açúcar estimado em 2,9% em relação à safra anterior. No estado de Pernambuco, a produção da cana de açúcar vem reduzinfo nas últimas safras, fato que é resultante do déficit hídrico evidenciado nos últimos anos, porém espera-se uma recuperação do rendimento na safra 2016/2017, em relação à safra passada, podendo atingir um aumento de 20,5%, isso devido as precipitações pluviométricas bem distribuídas ocorridas ao longo do ano (CONAB, 2016).

Embora o atual cenário da cana de açúcar no Brasil apresente um comportamento irregular representado por aumento de rendimento em algumas regiões e redução em outras regiões produtoras, é inegável o grande potencial do setor na geração de empregos diretos e indiretos. Segundo dados da IRENA (2015), as indústrias brasileiras de biocombustíveis empregam cerca de 845 mil trabalhadores, sendo a maior parte dos empregos na produção de etanol, um total de 504 mil empregos gerados.

O potencial produtivo da cana de açúcar pode ser influenciado positivamente pelo manejo empregado no cultivo, de modo que, a realização de estudos e o emprego de novas tecnologias têm tornado evidente a grande capacidade de resposta da cultura, quando cultivada sob maior assistência e cuidados técnicos. A utilização de adequadas práticas de preparo de solo, correções necessárias, disponibilização de nutrientes, manejo eficiente da irrigação, são alguns exemplos de técnicas que refletem diretamente no rendimento do canavial.

Economicamente a cana de açúcar apresenta um aspecto bastante atraente ao produtor, uma vez que, não necessita de novo plantio anual, pois apresenta a capacidade de rebrota, fato que possibilita ao produtor realizar vários cortes a partir de uma mesma área plantada, porém após sucessivos cortes a produtividade tende a reduzir gradativamente (BORBA e BAZZO, 2009).

Segundo TOMAZ (2013), o uso sucessivo de máquinas e implementos sobre as áreas de cultivo tende a proporcionar alterações em algumas características do solo, reduzindo o rendimento e longevidade do canavial. Além disso, vale salientar que as

alterações observadas no solo tendem a influenciar diretamente pontos essenciais para o desempenho da cultura, tais como o aproveitamento da água e dos nutrientes.

Estudos abordando a influência da irrigação sobre a produtividade da cana soca, têm sido realizados, no sentido de determinar o manejo mais adequado dessa técnica; Andrade Júnior et al. (2012), exemplificam bem, em trabalho realizado a importância do fornecimento de lâminas de irrigação no manejo da cana soca, no qual obtiveram valores significativamente maiores de produtividade de colmos, açúcar e álcool quando mantiveram o cultivo totalmente irrigado, esses valores foram respectivamente 207,4 $ton.ha^{-1}$, 25,3 $ton.ha^{-1}$, 20 $m^3.ha^{-1}$.

Durante o manejo da cana soca, é essencial que após o corte seja realizada a reposição dos nutrientes requeridos pela cultura e necessários para a manutenção do novo ciclo; dentre esses nutrientes, o nitrogênio tem sido objeto de várias pesquisas. Moura et al. (2005) avaliaram a resposta da socaria submetida a diferentes doses de nitrogênio e lâminas de irrigação, constatando ao final que a doses administradas, combinadas a irrigação, proporcionaram um aumento linear no rendimento de colmos, açúcar e álcool. De maneira semelhante, Andrade Júnior et al. (2012) observaram que o aumento da dose de nitrogênio, até 114 $kg.ha^{-1}$, proporcionou o máximo ganho em termos de produção de colmos, açúcar e álcool.

Desse modo, o emprego de técnicas que favoreçam a manutenção do desempenho produtivo das socarias devem ser objeto de estudo, visando reduzir, em parte, os efeitos de fatores antrópicos e ambientais sobre a cultura.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar a influência da subsolagem e da irrigação sobre as propriedades físico-hídricas de um solo cultivado com cana de açúcar em 3º corte sob doses crescentes de nitrogênio. E visando alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: i) analisar o efeito da subsolagem sobre a densidade do solo, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração; ii) determinar a distribuição de tamanhos dos poros do solo a partir da construção da curva característica de retenção de água do solo subsolado e não subsolado; iii) avaliar a produtividade da cana de açúcar adubada com 5 doses crescentes de nitrogênio, em regime de sequeiro e irrigado; iv) comparar as características tecnológicas da cana de açúcar cultivada sob cinco doses de nitrogênio em solo subsolado e não subsolado, em regime de sequeiro e irrigado.

A presente dissertação foi dividida em capítulos, onde a Revisão de Literatura corresponde ao capítulo 1. No capítulo 2 são apresentados os resultados das avaliações

dos atributos físicos do solo em função da subsolagem. No capítulo 3, a qualidade tecnológica e a produtividade na área subsola são apresentadas. E no capítulo 4 a influência da irrigação e da subsolagem é abordada sobre a produtividade.

CAPÍTULO I - Revisão de Literatura

1. Importância da irrigação na socaria da cana de açúcar

Após o corte da cana, os rizomas permanecem no campo e suas raízes, oriundas do ciclo anterior, mantêm suas funções por determinado tempo. O sistema radicular antigo permanece por 20 a 30 dias realizando a absorção de água e nutrientes para a reposição da reserva energética do rizoma (SILVA e SILVA, 2012). Sucedendo-se esse período é essencial que o rizoma já esteja provido de um novo sistema radicular que passará a ser responsável pelas funções de absorção de água e nutrientes que irão alimentar a rebrota durante o novo ciclo.

A morte do sistema radicular remanescente ou o surgimento do novo sistema radicular do rizoma é influenciado principalmente pela umidade do solo (VASCONCELOS e MIRANDA, 2011). Nesse contexto, a ausência do teor de umidade adequado durante os primeiros 30 dias após o corte pode ser decisiva para a obtenção de uma boa rebrota do canavial e consequentemente a manutenção de um bom estande no talhão.

Embora a utilização da irrigação mostre-se como fundamental para a rebrota do canavial, essa tecnologia é sem dúvida uma forte aliada durante todo o ciclo da cultura, sendo capaz de favorecer a obtenção de grandes diferenças significativas na produtividade se comparada com um cultivo não irrigado. A irrigação, além de proporcionar um incremento na produtividade (NOLÊTO et al., 2011), permite ampliar o tempo de exploração do canavial (DALRI et al., 2008).

Moura et al. (2005), observaram que o fornecimento de lâminas de irrigação durante o 2º ciclo da variedade SP-716949, proporcionou ganhos significativos de produtividade, quando comparado ao regime de sequeiro.

É indiscutível a importância dos estudos das lâminas de irrigação sobre a produtividade da cana de açúcar, porém parte dos canaviais cultivados sob irrigação ainda estão utilizando variedades manejadas inadequadamente ao ambiente de produção e em condições de solo desfavoráveis (OLIVEIRA et al., 2011).

Entre as condições de solo desfavoráveis, pode-se citar a baixa fertilidade natural e as alterações de algumas propriedades físicas do solo, resultantes de atividades antrópicas realizadas durante o ciclo da cultura. Especialmente, em áreas de cana soca,

quando tais atividades são representadas pelo tráfego de máquinas, implementos e pessoas, utilizados na realização de tratos culturais e colheita.

2. Adubação nitrogenada em socaria de cana de açúcar

A influência dos teores de nitrogênio disponibilizados a cana de açúcar durante o seu ciclo tem sido objeto de estudos na comunidade científica (OLIVEIRA, 2011; CORREIA, 2012; RHEIN, 2012; FABRIS, 2013; FURTADO et al., 2014;) pelo fato de que a variação de suas doses tem mostrado resultados distintos e em muitos casos resultando em ganhos de produtividade.

Correia (2012) encontrou em seus estudos respostas significativas e distintas utilizando as doses 0, 60, 120, 180 e 240 $kg.ha^{-1}$ de N, atribuindo o maior ganho de produtividade a dose 120 kg. Da mesma forma, Rhein (2012) avaliou as doses 0, 50, 100, 150 e 200 $kg.ha^{-1}$ de N por hectare e obteve resultados de comportamento semelhantes, representados pelo ganho significativo de produtividade. Segundo Vitti et al. (2007), há uma tendência de aumento linear da produção de cana de açúcar com o crescimento das doses de N até o nível de 180 $kg.ha^{-1}$ e os efeitos estendem-se para as socas.

Nesse sentido, a utilização de doses de N bem dimensionadas para a cana soca, pode significar um incremento na longevidade do canavial além de refletir diretamente na produtividade gerando ganhos econômicos.

3. Relação dos atributos físico-hídricos do solo com o cultivo da cana soca

3.1. Compactação do solo

Tanto a irrigação quanto a adubação utilizam o solo como principal veículo de movimentação em direção a planta, de modo que, é fundamental que haja uma harmonia entre a lâmina aplicada, níveis de nutrientes fornecidos e as boas condições físicas do solo.

Os sucessivos ciclos da cultura reiniciados a partir de cada corte tendem a acumular efeitos sobre os atributos físicos do solo. Esses efeitos, em sua maioria, são negativos, especialmente para os valores de densidade, resistência do solo à penetração

e aeração do solo (SUZUKI et al., 2007; SILVA et al., 2011), fato que gera uma forte redução na capacidade de exploração do sistema radicular da cultura (MARCHÃO et al., 2007). Segundo Albuquerque e Reinert (2001), que avaliaram esse comportamento em área cultivada por milho, essas alterações são resultantes da compactação verificada na área, o que eleva esse parâmetro à um dos fatores de maior relevância na resposta produtiva das culturas.

A alteração na disponibilidade de água é reflexo do arranjo dos poros ao longo do perfil, pelo fato de que os poros maiores são responsáveis pela aeração e drenagem da água gravitacional. Por outro lado, os poros menores são responsáveis pela retenção de água no solo, de modo que, o equilíbrio na distribuição dos poros é importante para o mais adequado processo de movimentação de água no solo (RIBEIRO et al., 2007; SEVERIANO et al. 2010).

3.2. Densidade do solo

A densidade do solo é um parâmetro que relaciona a massa de solo seco contida em um determinado volume de solo, de modo que, pode ser diretamente influenciada pelo manejo adotado no cultivo. Segundo Camargo e Alleoni (1997), o aumento da densidade ocorre frequentemente em ambientes onde são empregados máquinas e implementos ou que são submetidos a um pisoteio intenso, resultando em um dos mais sérios fatores que restringem o desenvolvimento das plantas.

Durante o manejo da cana de açúcar (carregamento e colheita) o solo é submetido a compressões exercidas pelas máquinas e implementos e ainda pelo pisoteio das soqueiras remanescentes na área colhida; esse fato favorece efeitos negativos sobre o desempenho da cultura, uma vez que pode elevar o índice de danos aos colmos no solo e por fim, prejudicar a rebrota do canavial (LIMA et al,., 2015).

De acordo com Cavalieri et al. (2006), o preparo inadequado do solo também pode atuar diretamente na compactação, favorecendo o aumento da densidade e consequentemente alterando outras propriedades físicas como: porosidade do solo, retenção de água, aeração do solo e resistência a penetração.

Segundo Lima et al. (2009), o aumento da densidade do solo no cultivo da cana de açúcar, principalmente nas camadas superficiais, prejudica o desenvolvimento do sistema radicular, já que essa cultura tende a ter seu nível de exploração nutricional

arranjado na camada arada, sendo o limite máximo tolerável de densidade 1,45 $g.cm^{-3}$, em solos de textura argilosa.

3.3. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração representa a força de reação exercida pelo solo diante do crescimento radicular, de modo que, quanto maior for essa força de reação, maior será a dificuldade de crescimento e expansão das raízes no solo. Segundo Lima et al. (2009), a resistência do solo à penetração juntamente com a densidade do solo, são atributos físicos que influenciam diretamente no crescimento radicular e como consequência, na parte aérea, sendo dependente principalmente de características pedológicas e do manejo empregado no solo.

O aumento da resistência do solo à penetração acarreta ainda na redução de produtividade nas áreas afetadas (DEXTER, 2004). De acordo com Silva Júnior et al. (2013), é necessário a adoção de gradagem e subsolagem minimizou os efeitos da elevada densidade e resistência do solo à penetração, em comparação com práticas de preparo do solo sem subsolagem.

3.4. Condutividade hidráulica do solo

A condutividade hidráulica do solo avalia a movimentação da água dentro do perfil do solo, podendo ser obtida através de teste em campo ou em laboratório. Segundo Angelotti Netto et al. (2004), o conhecimento do comportamento da água dentro do solo é importante para a otimizar a aplicação de água por meio da irrigação. Angelotti Netto e Fernandes (2005) verificaram que o manejo adotado durante o cultivo influencia significativamente a condutividade hidráulica do solo.

O tráfego intensivo de máquinas, observado no cultivo da cana de açúcar, favorece a compactação do solo tendendo a provocar redução na condutividade hidráulica do solo e da densidade do solo, em virtude da redução dos tamanhos de poros (SILVA et al., 2005). Segundo Gomes Júnior et al. (2014), o cultivo da cana de açúcar favorece maiores alterações negativas sobre parâmetros como densidade do solo, resistência à penetração e condutividade hidráulica, quando comparado com outros cultivos. Assim, Silva et al. (2005) comparando sistemas irrigados e de sequeiro com

mata nativa concluíram que as alterações na distribuição de diâmetro dos poros promoveram uma redução da condutividade hidráulica saturada e aumento da retenção de água do solo disponível para as plantas.

3.5. Manejo da subsolagem em socaria de cana de açúcar

É necessário que as condições físicas ao longo do perfil do solo favoreçam a melhor exploração do sistema radicular da cana de açúcar após os sucessivos cortes, potencializando a retenção de umidade, distribuição das raízes e poros do solo, além da melhor absorção de nutrientes.

Com intuito de reduzir o grau de compactação do solo durante os ciclos de cana soca, tem-se empregado uma prática pós-colheita conhecida como tríplice cultivo, ou seja, realiza-se, simultaneamente, a descompactação das camadas adensadas, a adubação química e o controle mecânico das plantas daninhas (PAULINO et al., 2004).

Nessa prática utiliza-se a escarificação ou subsolagem com o objetivo de descompactar a camada desejada do solo, sendo a escolha da escarificação ou da subsolagem função da profundidade de descompactação almejada, tendo em vista que, os escarificadores operacionalmente apresentam a capacidade de romper camadas até 0,35 m de profundidade enquanto os subsoladores atingem valores superiores a 0,40 m (LANÇAS, 2002).

Em contrapartida, Sá et al. (2016) concluíram que o revolvimento proporcionado pela escarificação em solo compactado, em soqueira de cana de açúcar, não interfere na massa de raízes, nos atributos físicos do solo nem na produtividade de colmos e de açúcar. Ainda, Prado et al. (2014) afirmaram que a escarificação promoveu diferenças significativas na resistência a penetração, densidade do solo e macroporosidade apenas na superfície do solo (0-15cm) e que, não houve diferença significativa na produção de cana de açúcar e nas características tecnológicas da cultura.

CAPÍTULO II - Atributos físicos de um argissolo distrocoeso cultivado com soqueira de cana de açúcar irrigada com e sem subsolagem

RESUMO

O estudo do comportamento dos atributos físicos do solo são norteadores na definição do manejo agrícola adequado, com vistas à preservação dos sistemas de produção. Este trabalho teve por objetivo analisar o efeito da subsolagem nas entrelinhas de plantio em soqueira de cana de açúcar sobre os atributos físicos do solo, em áreas irrigadas e de sequeiro. Foram avaliados os seguintes atributos físicos do solo: condutividade hidráulica saturada, resistência do solo à penetração, densidade do solo, curva característica de retenção de água no solo e distribuição dos poros por tamanho. Os resultados foram analisados pelo teste F (ANOVA) e os resultados significantes foram analisados pela comparação entre médias usando o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A subsolagem não promoveu aumento significativo na retenção de água. A porosidade total do solo aumentou significativamente apenas em algumas das camadas avaliadas. A densidade do solo subsolado reduziu, enquanto que a condutividade hidráulica do solo aumentou em 50%. Houve redução significativa nos valores de resistência do solo à penetração. A subsolagem nas entrelinhas da soqueira mostrou-se, portanto, como uma promissora prática auxiliar na busca pela manutenção do rendimento do canavial.

Palavras chaves: densidade do solo, condutividade hidráulica, qualidade física do solo, porosidade total, sequeiro.

ABSTRACT

Physical attributes of a Dystrophic Argisol cultivated with sugar cane ratoon irrigated with and without subsoiling.

The study of the behavior of the physical soil attributes are guiding in the definition of the appropriate agricultural management, with a view to the preservation of the production systems. The objective of this work was to evaluate subsoiling between rows effect of sugar cane ratoon crop on soil physical attributes in irrigated and rainfed. Saturated hydraulic conductivity, soil penetration resistance, soil density, soil water retention curve and pore size distribution were soil physical attributes evaluated. The results were analyzed by the F test (ANOVA) and the significant results were analyzed by comparing means by Tukey test at the 5% probability level. The subsoiling did not promote a significant increase in water retention. Soil total porosity increased significantly only in some layers evaluated. The soil density of subsoiled soil reduced, while the soil hydraulic conductivity increased at 50%. There was significant reduction in soil resistance to penetration. The subsoiling between the rows of the sugarcane ratoon was therefore a promising auxiliary practice to maintain of the sugar cane yield.

Keywords: sugarcane, subsoiler, soil physic quality, fertilization, rainfed.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana de açúcar ocupa posição de destaque na economia brasileira, com cerca de dez milhões de hectares plantados, o que classifica o país como o maior produtor mundial da cultura, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano (UNICA, 2014) especialmente quando sob irrigação.

A adoção da irrigação complementar ou suplementar tornou-se uma das práticas essenciais para elevar a produção da cana de açúcar no nordeste. No entanto, essa tecnologia exige um planejamento apropriado, acompanhamento da eficiência do uso da água ao longo do tempo, considerar as necessidades hídricas da cultura com a devida adequação do manejo em função das características climáticas e de capacidade de retenção de água no solo.

O uso da irrigação é fundamental no manejo da cana soca quando se busca manter a resposta produtiva da cultura em um nível satisfatório; o uso desde técnica torna-se crucial geralmente, já partir do corte da cana, uma vez que, nessa fase a

umidade é indispensável para que haja uma rebrota de qualidade. Silva et al. (2012) estudaram o comportamento da variedade de cana RB92579, em soca, submetida a irrigação, constatando ao final que houve um alto padrão de perfilhamento, resultando no aumento do número de colmos industrializáveis.

De um modo geral, o preparo do solo envolve diversas práticas agrícolas que favorecem o desenvolvimento vegetal. No entanto, especialmente no caso da cana de açúcar, essas práticas implicam no uso frequente de maquinários que poderão comprometer a qualidade física do solo, mensurada em seus atributos. Aliado a este fato, está a umidade do solo durante essas operações, que poderá acentuar significativamente a compactação do solo.

A necessidade constante de máquinas circulando na área cultivada com cana de açúcar, desde o preparo do solo até a colheita, exige o constante monitoramento dos atributos físicos do solo para adoção de manejo que possa minimizar os efeitos negativos da compactação sobre a produtividade da cana de açúcar.

Os atributos físicos comumente utilizados para diagnosticar o grau de compactação do solo são condutividade hidráulica, resistência do solo à penetração, densidade do solo e distribuição de tamanho de poros. Esse conjunto de atributos é responsável por caracterizar a qualidade física do solo e refletem as implicações na produção agrícola.

Assim, estudos que visem melhorar ou manter a estrutura do solo cultivado têm contribuído para otimizar o manejo do solo e elevar a produtividade desses solos. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo analisar o efeito da subsolagem sobre os atributos físicos do solo: densidade do solo, condutividade hidráulica, resistência do solo à penetração e distribuição de tamanhos dos poros do solo subsolado e não subsolado sob cultivo irrigado de cana soca.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em uma área pertencente a Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, situada no Município de Carpina, PE, latitude 7º 51’ 13’’ S, longitude 35º 14’ 10’’ W e 180 m de altitude, durante o período de janeiro de 2015 a outubro de 2015, abrangendo

o ciclo de 3ª folha da cana estabelecida na área desde o ano de 2012 (Figura 1). O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Ams, tropical chuvoso de monção, com verão seco.

Figura 1. Vista geral da área de estudo na Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina (EECAC).

A classe predominante de solo é Argissolo Amarelo distrocoeso abrupto com textura areno-argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (SANTOS et al., 2013).

As parcelas experimentais foram submetidas a duas condições de manejo do solo após o 2º corte da cana: com e sem realização de subsolagem nas entrelinhas de plantio; cada subparcela foi formada por cinco sulcos de 6 metros de comprimento, espaçados em 1,10 m, resultando em 33 m^2 por unidade experimental, considerando-se uma área útil de 19,8 m^2. Vale salientar que os mesmos tratamentos foram avaliados sob condições irrigadas e de sequeiro, resultando em dois experimentos.

A variedade implantada foi a RB92579. Essa variedade foi liberada no ano de 2003, pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana de açúcar, da Universidade Federal de Alagoas, ganhando destaque no setor sucroalcooleiro por apresentar excelentes características agrícolas e industriais, tais como: alta produtividade, período útil de industrialização (PUI) longo, baixo florescimento, ótima brotação das socarias, favorecendo a longevidade do canavial. Além disso, a variedade é altamente responsiva a irrigação, tendo suas melhores respostas em cultivos irrigados e em solos com alta capacidade de retenção de água (RIDESA, 2010).

A irrigação foi estabelecida sob o critério de reposição de 100% da ETc, sendo manejada de acordo com o clima, de modo que, as lâminas de irrigação para reposição da capacidade de campo foram calculadas em função da ETc (evapotranspiração da cultura). A ETc, por sua vez, foi estimada a partir da evaporação diária, obtida por meio do tanque classe "A" existente na própria EECAC e do coeficiente cultural (kc) da cana de açúcar para cada estádio fenológico.

As lâminas necessárias foram aplicadas por meio de um sistema de irrigação utilizando aspersores do tipo mini-canhão Plona KS 1500, com bocal de 16 x 5 mm, pressão de serviço de 25 mca, vazão nominal de 13,61 m^3 h^{-1}, diâmetro molhado de 30 m e espaçados em 15 m.

Durante o manejo da irrigação considerou-se ainda os valores de precipitação pluviométrica para o cálculo da lâmina a ser aplicada em cada evento de irrigação, sendo o valor precipitado entre cada turno de rega, que no experimento foi em média de seis dias, descontado da ETc. Os dados climatológicos referentes ao período do experimento podem ser observados na figura 2.

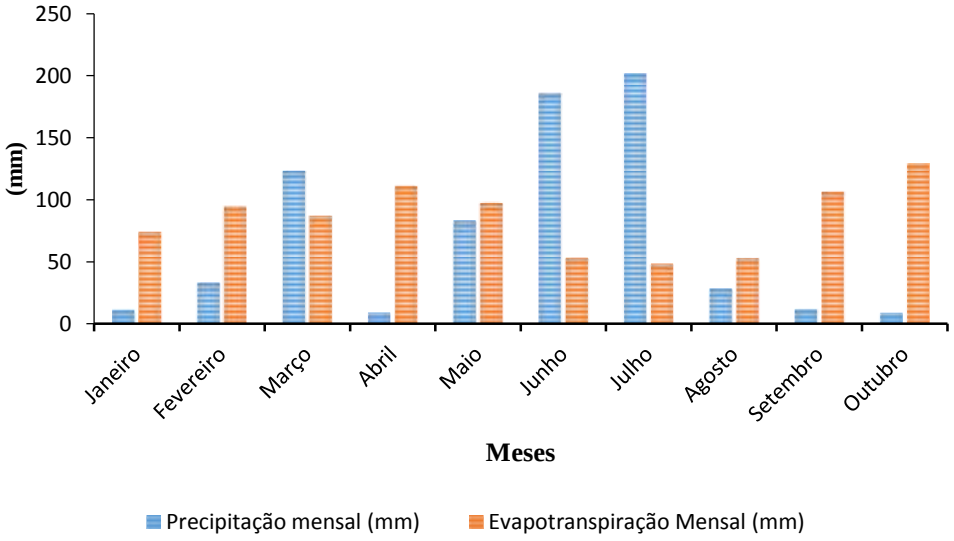

Figura 2. Valores de precipitação pluviométrica e evapotranspiração da cultura acumulada mensalmente durante o período do experimento.

A colheita correspondente a 2ª folha foi realizada no final do mês de janeiro de 2015, momento no qual o período do experimento iniciou, de modo que, a primeira lâmina aplicada na área após o corte foi realizada na segunda semana de fevereiro de 2015, sendo aplicados 32,4 mm, equivalente a uma irrigação de salvação, uma vez que, a área ainda não estava sendo manejada sob os moldes do experimento. Após iniciar o

manejo propriamente dito da irrigação, foram administradas lâminas nos meses de abril, maio, agosto e setembro, totalizando ao final do experimento uma reposição acumulada de 284,4 mm via irrigação, que somada a quantidade precipitada ao longo do ciclo resultou em 983,9 mm.

Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para realização da análise química e granulométrica e, a partir dos resultados se definiu a adubação de fósforo e potássio; os valores encontrados nas análises podem ser observados na tabela 1

Tabela 1. Valores encontrados para principais parâmetros da análise de solo

Atributos	Camadas (cm)	
	0-20	20-40
M.O. (%)	1,32	1,26
pH	5	4,7
Ca^{2+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	1,77	1,1
Mg^{2+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,33	0,3
K^{+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,05	0,05
Na^{+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,12	0,11
Al^{3+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,23	0,43
H^{+} ($cmol_c.dm^{-3}$)	3,5	3,64
T ($cmol_c.dm^{-3}$)	5,99	5,61
V (%)	37,97	27,99
m (%)	9,20	21,61
P ($mg.dm^{-3}$)	6,67	6,33
Areia Total (%)	75,5	73,85
Argila (%)	19,8	21,84
Silte (%)	4,7	4,31
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso

A partir dos valores fornecidos pela análise de solo, calcularam-se as quantidades necessárias para reposição do fósforo e do potássio. Para o cálculo da dose de fósforo, foi utilizada a recomendação proposta para o estado de Pernambuco de acordo com Simões Neto (2008), aplicando-se assim, 180 $kg.ha^{-1}$ de fósforo por meio do superfosfato triplo, contendo 46 % do elemento em sua composição.

Para o fornecimento do potássio requerido utilizou-se o cloreto de potássio contendo 60% de K_2O, estimando a quantidade a partir da 2ª aproximação do manual de adubação para o estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A adubação foi realizada aos 90 dias após o corte correspondente ao 2º ciclo da cana na área, visando disponibilizar os nutrientes após o restabelecimento do sistema radicular, após a subsolagem.

A subsolagem foi realizada aos 60 dias após o corte do 2º ciclo, sendo utilizado um subsolador com uma haste de 0,60 m de comprimento acoplado a um trator MF 4292, com 105 cv de potência.

A camada subsolada foi de 0,50 m, tendo em vista que o solo da área apresentava uma camada compactada de 0,10-0,40 m de profundidade e, segundo Lanças (2002) a operação deve ser de 0,05 a 0,10 m mais profunda que a camada compactada. Segundo trabalho realizado por Sasaki (2005), a faixa de umidade entre 0,07 e 0,13 $cm^3.cm^{-3}$, para um solo de textura média, apresenta maior eficiência na subsolagem. Nesse contexto, durante a subsolagem o solo da área apresentava umidade de 0,11 $cm^3.cm^{-3}$. É importante salientar que este nível de umidade do solo foi considerado como determinante do momento mais adequado para a operação. Nas figuras 3 e 4 podem ser observados detalhes da operação realizada na área.

Figura 3. Subsolagem das entrelinhas de plantio.

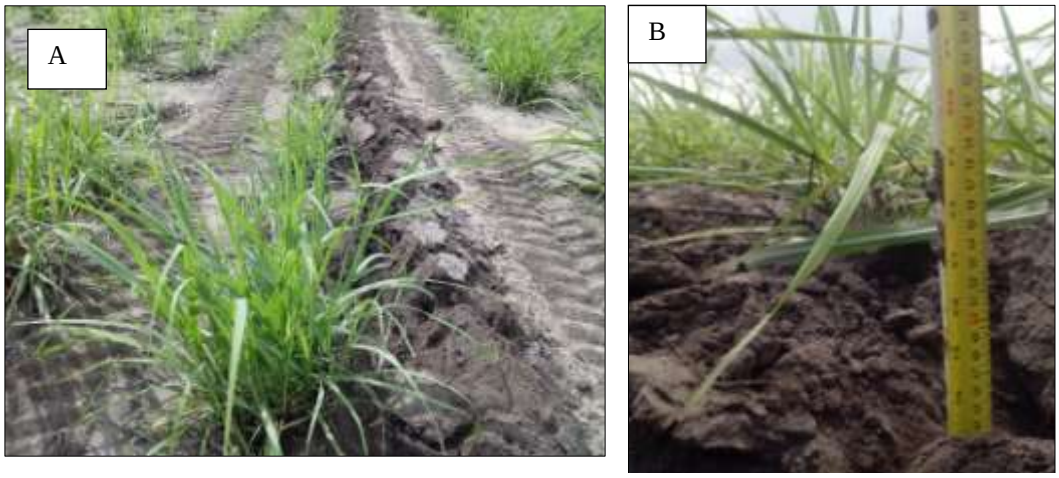

Figura 4. A- Detalhe das entrelinhas com e sem subsolagem; B- Profundidade da subsolagem.

Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat)

A condutividade hidráulica saturada foi realizada em campo através da utilização do Permeâmetro de Guelph. Procedeu-se o teste nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, permitindo avaliar a condutividade hidráulica ao longo do perfil para cada um dos tratamentos, abrangendo a camada subsolada.

Inicialmente foi aberto um orifício no solo utilizando-se um trado específico com diâmetro conhecido; para o primeiro furo, visando avaliar a condutividade na camada de 0-0,10 m, restringiu-se a profundidade até 0,05 m, detalhe necessário para que fosse possível o estabelecimento da carga hidráulica durante o teste nessa profundidade conforme pode ser visualizado na figura 5.

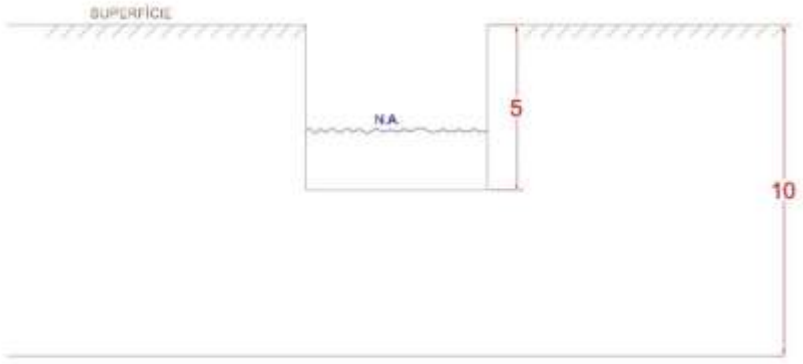

Figura 5. Detalhe da profundidade do furo para a camada de 0-10 cm.

Para as demais camadas procedeu-se a tradagem sempre até o limite inicial da camada, ou seja, para a camada de 0,10-0,20 m, por exemplo, furou-se até a profundidade de 0,10 m, estabelecendo-se a carga hidráulica sobre o topo da camada estudada.

Após a abertura do furo, posicionou-se o permeâmetro de Guelph e estabeleceu-se uma carga hidráulica de 1,5 cm no interior do furo. A partir daí passou-se a observar e contabilizar o volume infiltrado no solo no intervalo de 1 minuto, seguindo-se esse procedimento até que fossem obtidos quatro valores iguais de volume infiltrado, quando o teste foi cessado e iniciado novo teste no próximo ponto.

Como o permeâmetro dispõe de dois reservatórios de água distintos, testes prévios foram realizados para identificar qual deles seria utilizado em função das condições do solo, em termos de maior ou menor capacidade de infiltração. Assim, o reservatório externo foi selecionado devido requerer maior volume de água durante a realização do teste.

Em cada tratamento foram realizadas três repetições do teste considerando apenas uma altura de carga hidráulica, tendo em vista que, há uma tendência de heterogeneidade dentro da área devido as atividades antrópicas durante os ciclos da cultura. Segundo Elrick et al. (1989), em meios heterogêneos os cálculos que utilizam mais de uma carga de pressão geram resultados negativos, sendo recomendado um ensaio que utilize apenas uma carga de pressão. Após os testes, de posse dos coletados, calculou-se a condutividade hidráulica saturada a partir da equação 1, proposta por Elrick et al. (1989).

$$Ksat = \frac{CQ_s}{[2\pi H^2 + C\pi a^2 + \left(\frac{2\pi H}{\alpha}\right)]} \qquad \text{(Equação 1)}$$

O parâmetro *C*, é o fator de forma do furo, adimensional, obtido através da relação entre H e "a", utilizando-se como recurso a figura 6; Q_s é a vazão calculada através do volume constante infiltrado durante o teste dividido pelo tempo, em $cm^3.h^{-1}$; H é a altura da carga hidráulica, em cm; α é um fator que é obtido em função de características físicas do solo com o auxílio da tabela 2; "a" refere-se ao diâmetro do furo, correspondente a 5,5 cm.

Figura 6. Fator de forma de acordo com a relação H/a.
Fonte: Soil Mosture Equipment Corp. (1986).

Tabela 2. Valores para o parâmetro α em função do tipo de solo.

α (cm^{-1})	TIPO DO SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, sedimentos, lacustres e marinhos).
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areia fina com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia grossa inclui solos com macroporos e fissuras.

Fonte: Elrick (1989)

A figura 7 ilustra o teste de condutividade hidráulica saturada, realizado em campo.

Figura 7. Teste de condutividade hidráulica.

Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP)

A resistência do solo à penetração foi obtida através de teste realizado em campo, com o uso de um penetrômetro eletrônico, Falker Automação Agrícola, modelo PLG5300 munido do cone tipo 2. Este cone apresenta 12,83 mm de diâmetro e ângulo de penetração de 30°, sendo capaz de registrar dados de RP até 0,60 m de profundidade e uma força máxima de 7,7 MPa.

Para realização do teste foi fundamental observar as condições de umidade do solo, tendo em vista que, esse fator correlaciona-se diretamente com a resistência a penetração do solo. Portanto, é recomendado que o solo esteja na capacidade de campo e que as leituras em uma mesma área ocorram em um período máximo de 48 horas após uma chuva ou irrigação que tenha condicionado o solo até a capacidade de campo, visando obtenção de valores condizentes a uma condição de umidade do solo semelhante.

Foram realizadas leituras da RP nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, visando-se identificar o comportamento de compactação ao longo do perfil até a camada de impedimento.

O equipamento foi inicialmente posicionado na entrelinha de plantio e aplicou-se o teste em oito pontos distintos (réplicas) em cada tratamento; no mesmo momento em que foram coletadas amostras de solo correspondentes a cada ponto testado nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, visando o monitoramento da umidade durante os testes.

Com o objetivo de tornar mais eficiente a amostragem para umidade da área, posicionou-se os pontos de avaliação de RP de um modo que, as amostras de solo foram coletadas no centro do quadrado formado por quatro pontos, resultando em uma amostragem para cada grupo de quatro pontos. Nesse sentido, os oito pontos avaliados por tratamento corresponderam a dois grupos de quatro dentro de cada subparcela, conforme pode ser observado na figura 8.

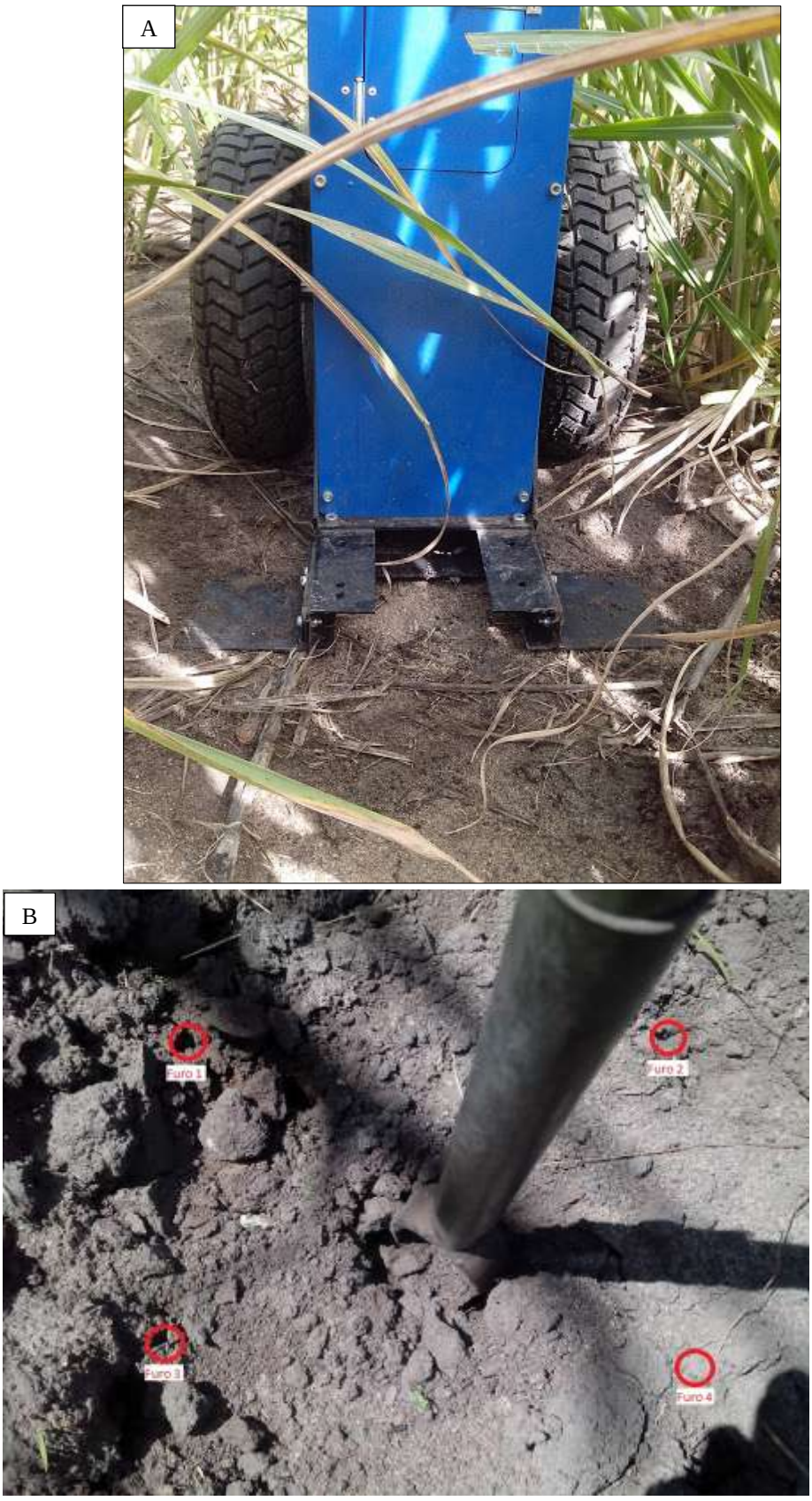

Figura 8. A- Penetrógrafo posicionado na entrelinha da subparcela. B- Posicionamento adotado durante o teste de RP e coleta de amostra para umidade.

Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) e Distribuição dos Poros

Para confecção da curva característica de retenção de água no solo, foram coletadas 3 amostras não deformadas em anéis volumétricos para cada tratamento, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, retiradas do centro e extremidades de cada subparcela.

As amostras foram coletadas após eventos de irrigação, de modo que fosse facilitada a inserção dos anéis, os quais foram inseridos no solo com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland (figura 9).

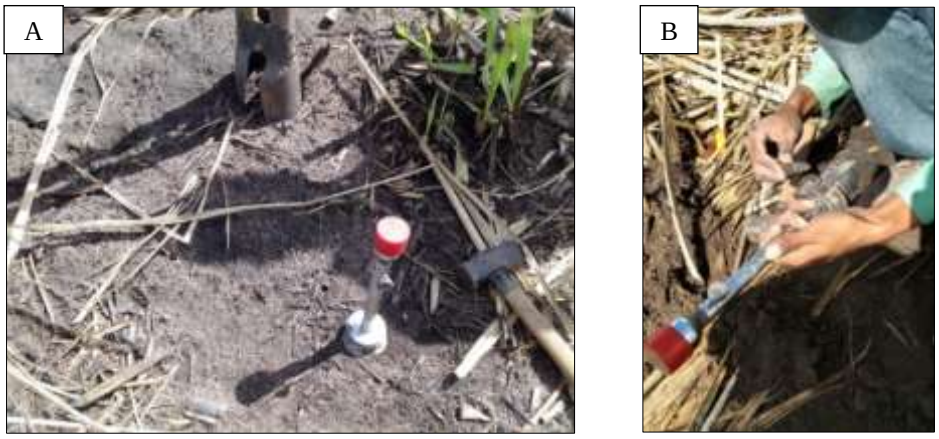

Figura 9. Coleta das amostras não deformadas.

No laboratório, as amostras não deformadas foram preparadas para as análises; por meio de uma prática chamada de “toalete das amostras”; em seguida isolou-se a parte inferior dos anéis utilizando-se um tecido do tipo perfex, prendendo o mesmo ao fundo dos anéis por meio de ligas de borracha. Essa preparação foi fundamental para o posterior processo de saturação das amostras e pesagens.

É importante salientar que anéis, ligas de borracha e pano perfex, foram previamente pesados, de modo que, as massas desses materiais foram descontadas da massa do conjunto durante as pesagens, restando após isso, a massa de solo seca.

Após o preparo, as amostras foram colocadas para saturar por capilaridade durante 24 horas; estando saturadas, pesaram-se as amostras para obtenção da massa de solo saturado e posteriormente foram levadas a mesa de tensão onde foram submetidas às tensões de 1, 3, 6, 8 e 10 kPa.

Cada uma das tensões foi mantida até que o equipamento parasse de drenar, indicando que a umidade das amostras havia atingido o equilíbrio em relação a tensão aplicada; em seguida as amostras foram pesadas, de modo que, para cada tensão aplicada obteve-se ao final o valor da umidade correspondente.

Após serem submetidos à tensão de 10 kPa, última tensão possível na mesa, os anéis foram levados até o extrator de Richards para serem avaliados sob as tensões de 33 kPa, 300 kPa e 1500 kPa.

Na utilização do extrator seguiram-se os mesmos procedimentos aplicados para a mesa de tensão, ou seja, saturou-se as amostras durante 24 horas e após a verificação do término da drenagem para cada pressão, as amostras foram retiradas do extrator e pesadas; em seguidas foram saturadas novamente, para serem submetidas a próxima pressão.

Após alcançarem o equilíbrio na pressão de 1500 kPa, as amostras foram pesadas e levadas à estufa para secarem durante 24 horas sob uma temperatura de 105º C, obtendo assim a densidade do solo e a umidade volumétrica para cada uma das tensões aplicadas.

De posse dos dados de umidade e suas respectivas tensões, foi confeccionada a CCRAS e partir desta, obteve-se a distribuição de tamanho de poros para cada tratamento nas faixas avaliadas, além da porosidade total calculada.

A distribuição dos tamanhos dos poros foi realizada de acordo com a classificação proposta por Prevedello (1996) que agrupa os poros de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Classificação de tamanho de poros conforme Prevedello (1996)

CLASSE	TAMANHO (μm)	FUNÇÃO
Macroporos	≥300	Aeração
Mesoporos	≥50 e <300	Redistribuição de água
Microporos	<50	Retenção de água

Análises estatísticas

Os resultados foram analisados com o auxílio do software estatístico ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2016), disponibilizado pela Universidade

Federal de Campina Grande. Realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) para investigação da presença de diferenças significativas nas variáveis avaliadas, nas condições com e sem a subsolagem e com e sem irrigação. As variáveis nas quais foram evidenciadas diferenças significativas, tiveram suas médias comparadas entre si por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Condutividade Hidráulica e Resistência do Solo à Penetração

Os dados referentes à condutividade hidráulica saturada e resistência do solo à penetração, submetidos à ANOVA, foi evidenciada diferença significativa para os manejos com e sem subsolagem. Os valores de F significativos para o manejo do solo com subsolagem estão resumidos na tabela 4.

Tabela 4. Valores de F encontrados e respectivas significâncias para o manejo do solo com subsolagem.

Variável	Camada (cm)							
	5-10		10-20		20-30		30-40	
	F							
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
Condutividade Hidráulica	46,78**	9,74*	43,17**	17,98**	20,09**	9,62*	21,32**	9,68*
Resistência à Penetração	24,43**	22,61**	36,86**	27,40**	33,99**	72,8**	30,70**	70,75**

* Significativo ao nível de 5%. ** Significativo ao nível de 1%.

As diferenças significativas observadas para essas variáveis foram positivas nas parcelas subsoladas, tanto do experimento irrigado (IRRIG) quanto no de sequeiro (SEQ). Constatou-se o aumento da condutividade hidráulica do solo subsolado em todas as camadas avaliadas (Figura 10), assim como, a resistência do solo à penetração no tratamento com subsolagem foi significativamente reduzida (Figura 11).

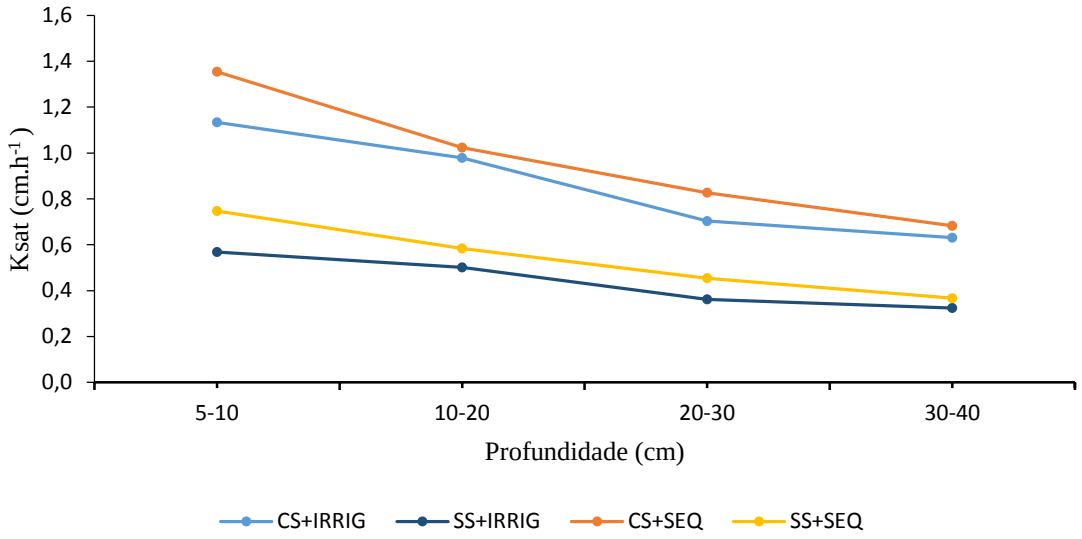

Figura 10. Comportamento da condutividade hidráulica saturada (Ksat) do solo em profundidade.

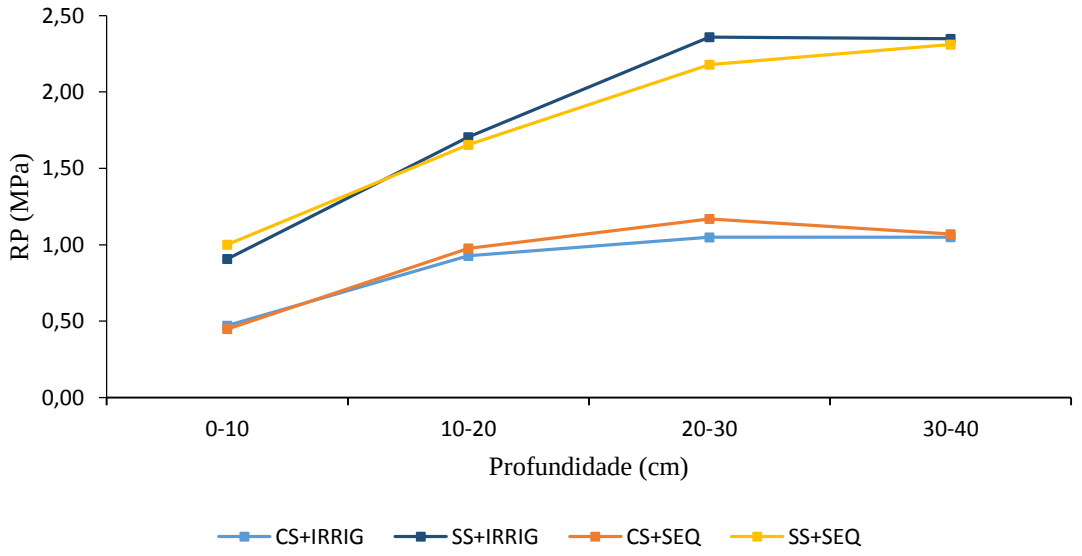

Figura 11. Comportamento da resistência do solo à penetração em profundidade.

O aumento da condutividade hidráulica saturada média, considerando toda a camada estudada (0-0,40 m), foi superior a 50% nas áreas subsoladas, em condições irrigadas e de sequeiro. Com relação a RP, a redução média identificada na camada total do solo foi de 47,81% e 51,40%, nas condições irrigadas e de sequeiro, respectivamente.

O comportamento ocorrido na condutividade hidráulica do solo, devido a subsolagem, assemelha-se às respostas encontradas por Cruz et al. (2010), onde foram avaliados os efeitos do tráfego de máquinas pesadas sobre algumas propriedades físicas do solo, observando-se ao final, uma redução de 60% da condutividade hidráulica no solo compactado; Segundo Aratani (2008) e Góes et al. (2005), a redução da condutividade hidráulica em solos cultivados, é resultado da diminuição da macroporosidade ocasionada pela compactação, desse modo, a capacidade do solo em conduzir água passa a sofrer limitações, uma vez que, os macroporos e mesoporos apresentam como principal função drenar e redistribuir a água no perfil do solo.

A área avaliada estava cultivada com cana de açúcar em 3ª folha, tendo sido exposta a sucessivas situações favoráveis a compactação, impactando negativamente na condutividade hidráulica, de modo que, o emprego da subsolagem nas entrelinhas de plantio como instrumento de descompactação do solo, melhorou significativamente a capacidade do solo em conduzir água.

A variável resistência do solo à penetração apresentou, após o experimento, significativa redução de seus valores nas áreas subsoladas; esse fato é positivo, uma vez que, as culturas, de maneira geral, apresentam um nível crítico de tolerância a resistência a penetração do solo. Para cana de açúcar, em particular, Otto (2012) estabeleceu intervalos para os valores de resistência a penetração que melhor representam a influência desse parâmetro sobre o desenvolvimento do sistema radicular. Assim, os valores de resistência do solo à penetração inferiores a 0,75 MPa não comprometem o crescimento radicular; valores entre 0,75 MPa e 2,0 MPa diminuem o crescimento radicular e a partir de 2,0 MPa há uma restrição severa no crescimento.

Nesse contexto, verifica-se que antes da subsolagem, a camada de 0-0,20 m apresentava valores médios que se enquadravam na faixa de 0,75 MPa a 2,0 MPa, ou seja, situação que já favorecia a diminuição do crescimento radicular da cultura; a camada de 20-40 cm, por sua vez, apresentava valores de RP superiores a 2,0 MPa, fato que promove severa redução no desenvolvimento radicular. Desse modo, pode-se dizer que antes da subsolagem, a maior parte do perfil do solo avaliado, oferecia condições de RP que tendiam a comprometer o melhor desenvolvimento radicular.

Após a subsolagem, os valores de RP foram significativamente reduzidos, de tal modo que, os valores médios correspondentes a camada de 0-0,20 m passaram a situar-se abaixo de 0,75 MPa e na camada de 0,20-0,40 m enquadraram-se na faixa de 0,75 MPa a 2,0 MPa, estando mais próximos do limite inferior dessa faixa. Esse

comportamento fez com que o intervalo de 0-0,40 m passasse a apresentar valores de RP próximos ao ideal para o bom desenvolvimento radicular da cana de açúcar, uma vez que, se tem um aumento na massa de raízes produzidas, potencializa-se a absorção de água e nutrientes pela cultura.

A redução nos valores de resistência a penetração devido a subsolagem também foi observada em trabalho realizado por Calfa et al. (2011), onde avaliou-se a influência dessa operação sobre algumas propriedades físicas de um latossolo cultivado com citros, encontrando-se valores inferiores a 2,0 MPa, além do aumento da condutividade hidráulica saturada até a profundidade de 0,45 m, como ocorreu no presente estudo.

Brandão (2005) avaliou a influência da subsolagem em um solo cultivado com citros, observando ao final a redução da resistência do solo a penetração para valores abaixo do limite de 2,0 MPa até a profundidade de 0,55 m, aliado ao aumento do desenvolvimento radicular da cultura. Bergamin et al. (2010) avaliaram o efeito da compactação sobre o desenvolvimento radicular do milho até a profundidade de 0,20 m e concluíram que a compactação do solo desfavoreceu o desenvolvimento radicular.

Curva de Retenção do Solo, Densidade e Distribuição de Poros

A partir dos dados obtidos na mesa de tensão e na câmara de Richards, foram elaboradas as curvas características de retenção de água do solo, que podem ser observadas nas figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

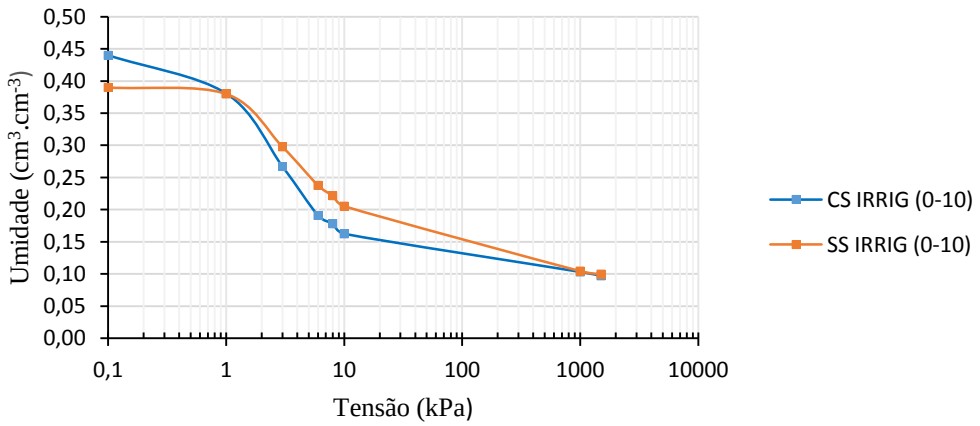

Figura 12. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 0-10 cm.

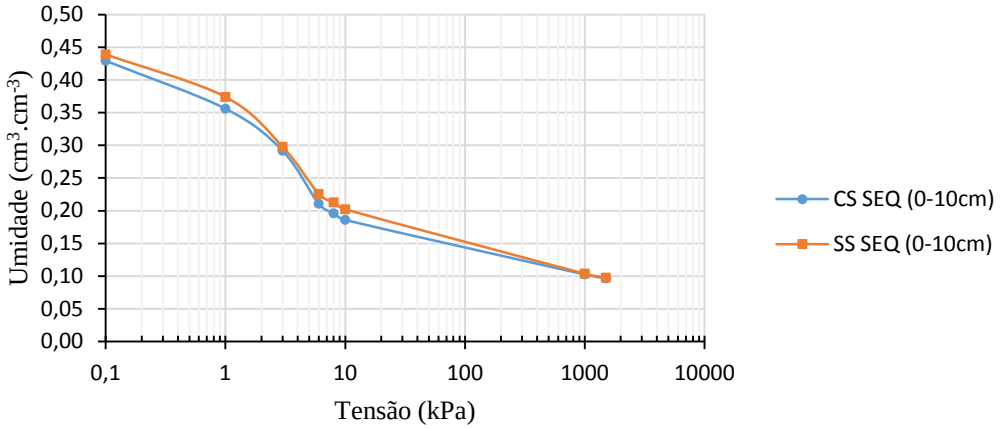

Figura 13. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 0-10 cm.

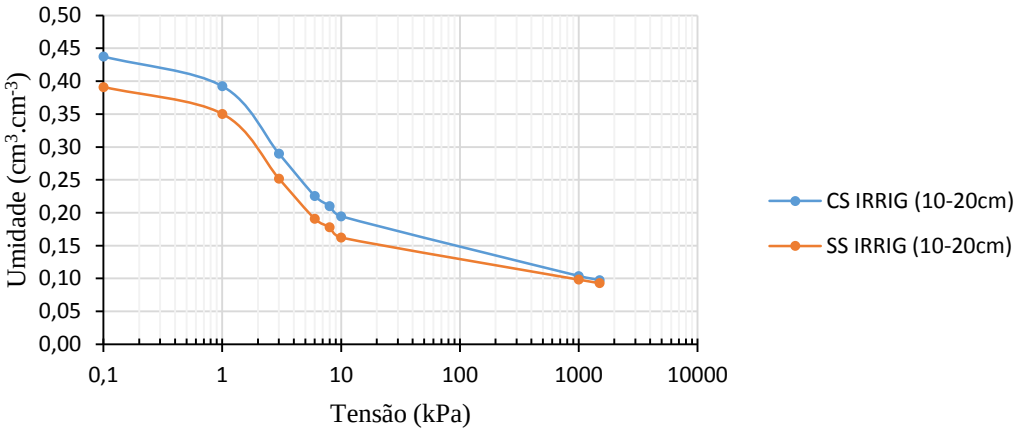

Figura 14. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 10-20 cm.

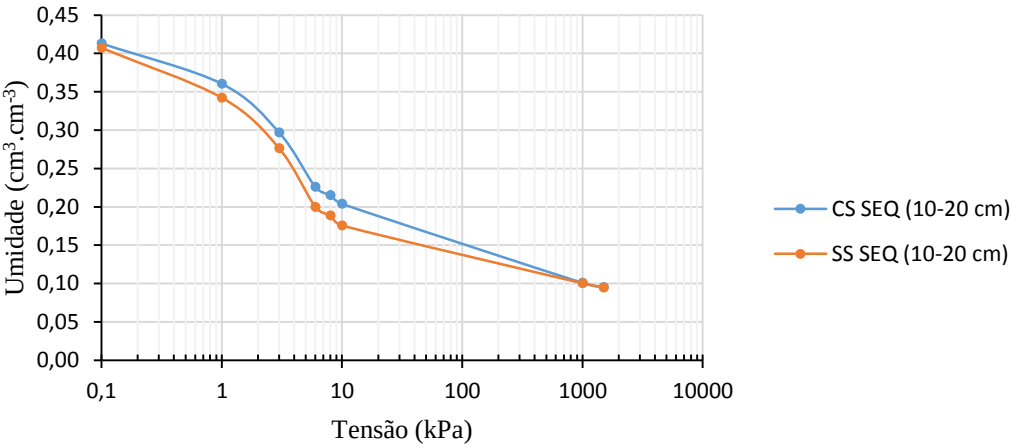

Figura 15. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 10-20 cm.

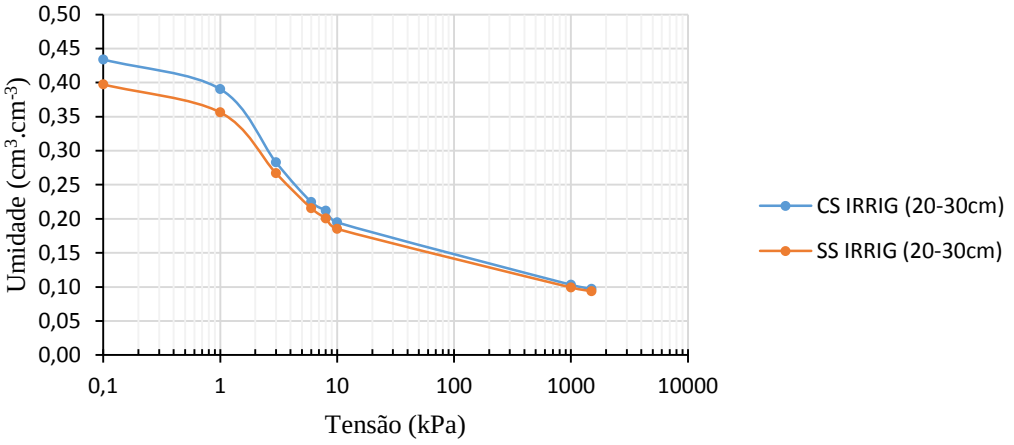

Figura 16. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 20-30 cm.

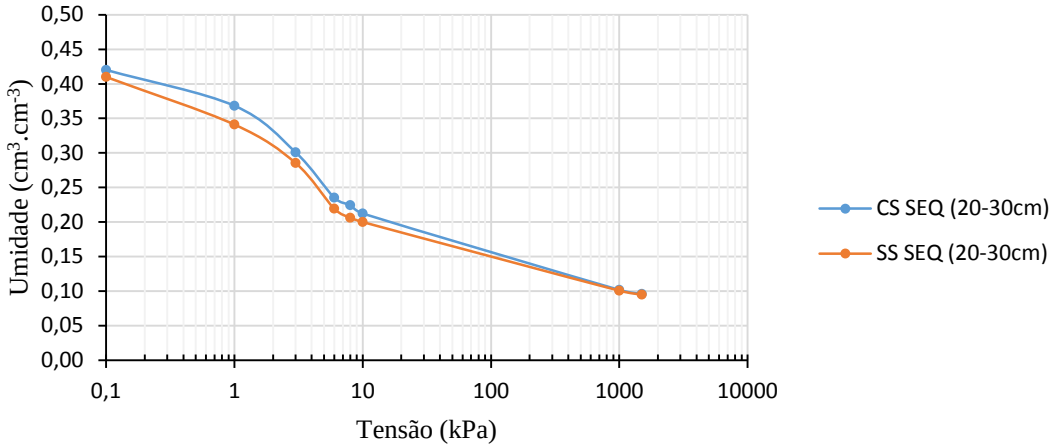

Figura 17. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 20-30 cm.

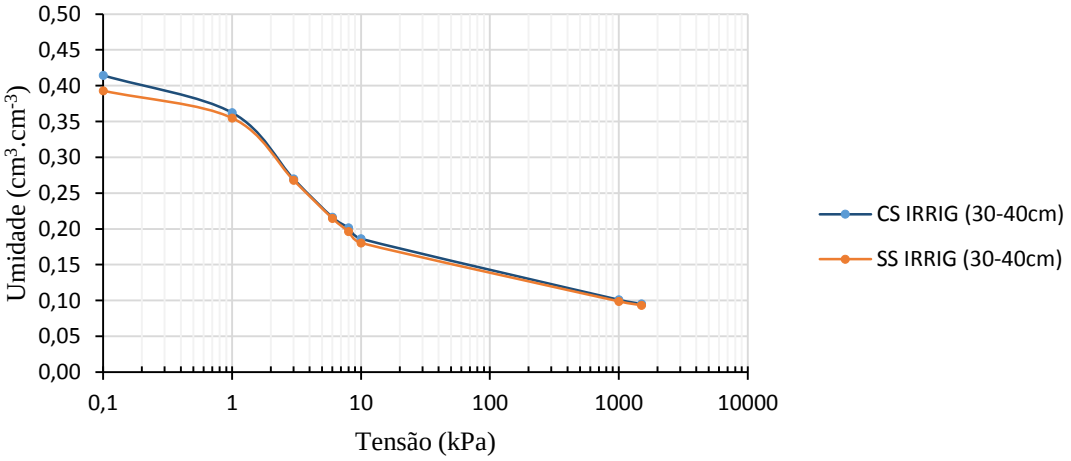

Figura 18. CCRAS sob manejo irrigado na camada de 30-40 cm.

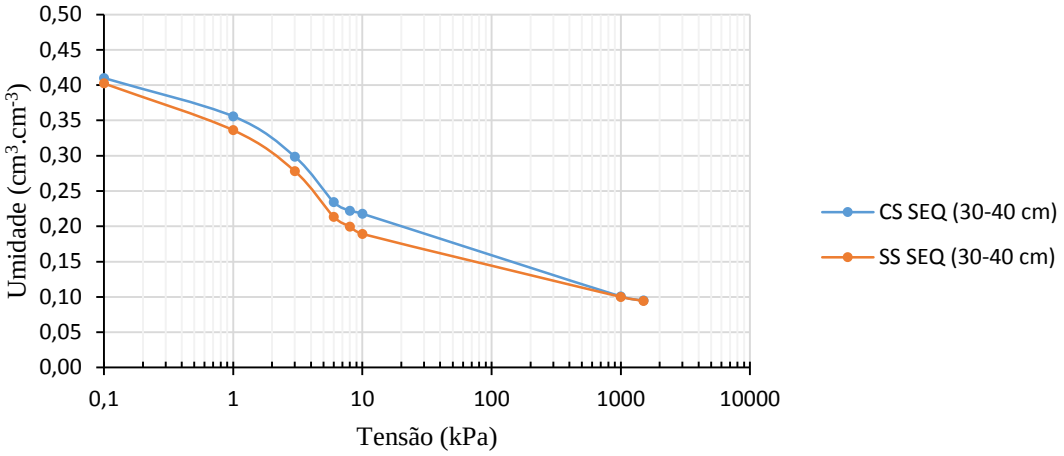

Figura 19. CCRAS sob manejo de sequeiro na camada de 30-40 cm.

De acordo com as curvas característica de retenção de água do solo (CCRAS), verificam-se comportamentos semelhantes nas condições irrigadas e sequeiro; para todas as camadas avaliadas observa-se a tendência de incremento na retenção de água e na porosidade do solo quando subsolado, porém, apenas as camadas 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, na condição irrigada, diferiram estatisticamente (Tabelas 5 e 6). Observa-se ainda que, de acordo com os dados estudados, a subsolagem pouco influenciou na umidade equivalente ao ponto de murcha permanente do solo (PMP), como é ilustrado nas CCRAS, onde estes pontos praticamente coincidem com os mesmos valores.

O fato da subsolagem ter afetado a porosidade total de algumas camadas, não resultou em aumento significativo da água disponível do solo (AD). Os valores de AD obtidos estão dispostos na tabela 7.

Tabela 5. Detalhamento da porosidade do solo sob irrigação nos tratamentos com e sem subsolagem.

Camada (cm)	Porosidade do solo ($cm^3.cm^{-3}$)							
	Porosidade Total		Macroporos		Mesoporos		Microporos	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS	CS	SS
0-10	0,44 a	0,39 b	0,06 a	0,01 b	0,19 a	0,14 b	0,19 b	0,24 a
10-20	0,44 a	0,39 b	0,05 a	0,04 a	0,17 a	0,16 a	0,22 a	0,19 a
20-30	0,43 a	0,40 b	0,04 a	0,04 a	0,17 a	0,14 a	0,22 a	0,22 a
30-40	0,41 a	0,39 a	0,05 a	0,04 a	0,15 a	0,14 a	0,21 a	0,21 a

Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, dentro do tratamento irrigado ou sequeiro.

Tabela 6. Detalhamento da porosidade do solo avaliado sob condição de sequeiro nos tratamentos com e sem subsolagem.

Camada (cm)	Porosidade do solo ($cm^3.cm^{-3}$)							
	Porosidade Total		Macroporos		Mesoporos		Microporos	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS	CS	SS
0-10	0,43 a	0,44 a	0,07 a	0,07 a	0,15 a	0,15 a	0,21 a	0,22 a
10-20	0,41 a	0,41 a	0,05 a	0,07 a	0,13 a	0,14 a	0,23 a	0,20 a
20-30	0,42 a	0,41 a	0,05 a	0,07 a	0,13 a	0,12 a	0,24 a	0,22 a
30-40	0,41 a	0,40 a	0,05 a	0,07 a	0,12 a	0,12 a	0,24 a	0,21 a

Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, dentro do tratamento irrigado ou sequeiro.

Tabela 7. Valores de água disponível do solo sob diferentes manejos de solo.

Camada (cm)	Água Disponível ($cm^3.cm^{-3}$)			
	Irrigado		Sequeiro	
	CS	SS	CS	SS
0-10	0,08 a	0,10 a	0,09 a	0,10 a
10-20	0,10 a	0,08 a	0,11 a	0,10 a
20-30	0,10 a	0,10 a	0,12 a	0,11 a
30-40	0,09 a	0,09 a	0,10 a	0,08 a

Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, dentro do tratamento irrigado ou sequeiro.

A partir dos dados apresentados é possível inferir que a prática da subsolagem, de maneira geral, não propiciou um aumento significativo da AD embora tenha provocado incremento na porosidade em algumas camadas avaliadas.

Prado et al. (2014) avaliaram o efeito da escarificação do solo na pós-colheita da cana de açúcar e encontraram resultados que indicaram que a operação propiciou o aumento significativo da porosidade apenas até a profundidade de 15 cm, abaixo dessa profundidade não houve diferença significativa na porosidade total do solo.

Resultados obtidos por Garbiate et al. (2014) também corroboram o presente trabalho; os autores evidenciaram que a escarificação da entre linha da soqueira não resultou em aumento estatisticamente significativo da porosidade total, embora tenha havido uma tendência ao aumento dos valores de porosidade nas áreas escarificadas.

Os valores referentes a densidade do solo também foram analisados no presente trabalho, de modo que, os resultados podem ser vistos na tabela 8.

Tabela 8. Valores de densidade do solo submetido aos diferentes tratamentos.

Camada (cm)	Densidade do Solo ($g.cm^{-3}$)			
	Irrigado		Sequeiro	
	CS	SS	CS	SS
0-10	1,51 a	1,56 a	1,53 a	1,53 a
10-20	1,54 b	1,61 a	1,57 a	1,59 a
20-30	1,56 b	1,63 a	1,55 b	1,60 a
30-40	1,55 a	1,60 a	1,55 a	1,56 a

Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, dentro do tratamento irrigado ou sequeiro.

Entre as camadas analisadas apenas de 10-20 cm e 20-30 cm diferenciaram-se estatisticamente na condição irrigada; no sequeiro apenas a camada de 20-30 cm apresentou diferenças estatísticas. Observa-se que de maneira geral a subsolagem tendeu a reduzir os valores da densidade do solo, apontando a influência positiva dessa operação.

Resultados semelhantes foram descritos por Paulino et al. (2004), onde os autores evidenciaram uma redução máxima de 8,2% nos de densidade do solo após escarificação em relação a testemunha; Garbiate (2013), também observou uma pequena redução da densidade do solo escarificado, atingindo um máximo de 6,3% em relação a testemunha. No presente trabalho, a redução média no perfil foi de 3,9 % e 1,3 %, nas condições irrigadas e sequeiro, respectivamente. Similarmente, nos trabalhos realizados por Paulino et al. (2004), Garbiate et. al (2014) e Camilotti et al. (2005), avaliando o efeito da escarificação das entrelinhas da cana, também foi observada redução nos valores da densidade de solo.

CONCLUSÕES

1. A subsolagem realizada na entrelinha de plantio da cana de açúcar em 3ª folha, reduz a resistência do solo à penetração, atingindo valores considerados ideais para a cultura;

2. A condutividade hidráulica saturada do solo aumentou cerca de 50%, nas áreas subsoladas;
3. A retenção de água tendeu a ser maior no solo subsolado, em quase todas as camadas avaliadas, porém não atingiu ganhos estatisticamente significativos;
4. A subsolagem propiciou aumento significativo na porosidade total do solo apenas em algumas camadas estudadas, fato que não representou ganhos significativos nos valores de água disponível do solo;
5. Os valores de densidade do solo reduziram significativamente nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, nas áreas subsoladas em cerca de 3,9 % e 1,3 %, nas condições irrigada e sequeiro, respectivamente.

CAPÍTULO III - Qualidade tecnológica e produtividade em soqueira de cana de açúcar irrigada sob diferentes manejos de solo

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes manejos de solo, quais sejam, a subsolagem nas entrelinhas de plantio da soqueira de cana após o 2º corte, a adubação nitrogenada e a irrigação sobre a produtividade e da qualidade tecnológica da cana de açúcar. Os tratamentos foram dispostos em três blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, compostos de cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 t ha^{-1}) nas áreas com e sem subsolagem, em condições de sequeiro e irrigado, resultando em dois experimentos. Foram mensuradas a produtividade da cana de açúcar (TCH), percentagem de sacarose aparente (Pol) e açúcar total recuperável em toneladas por hectare (TATRH). A pesquisa foi realizada em área da Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), situada no Município de Carpina, PE. Os resultados foram analisados pelo teste F (ANOVA) e os resultados significantes foram analisados pela comparação entre médias usando o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A análise de regressão foi utilizada para avaliar o efeito das doses de nitrogênio. Os resultados mostraram que a subsolagem propicia um ganho significativo de 5,53 toneladas de cana por hectare, quando comparado com a área sem subsolagem, sob irrigação. No entanto, para os demais parâmetros avaliados (TPH e TATRH) não se verificou diferenças significativas. Dessa forma, a subsolagem favoreceu ganhos de produtividade nas condições irrigadas e de sequeiro, anulando em parte a ausência da irrigação. Além disso, houve interação significativa da produtividade (TCH) com as doses de nitrogênio, de modo que as doses crescentes de nitrogênio refletiram em aumento linear de produtividade.

Termos para indexação: compactação, escarificação, subsolador, açúcar total recuperável, *saccharum sp.*

ABSTRACT

Technological quality and yield sugarcane ratoon under different soil managements

The objective of this study was to evaluate the effects of different soil managements, subsoiling on inter-row of sugarcane ratoon after second harvest, nitrogen fertilization and irrigation on the productivity and technological quality. The treatments were arranged in three blocks randomized with arrangement in split plots, composed of five levels of nitrogen (0, 40, 80, 120 and 160 t ha^{-1}) with and without subsoiling, being evaluated under rainfed and irrigated conditions resulting in two experiments. Yield sugarcane (TCH), apparent sucrose percentage in tons per hectare (TPH) and tons of total reducing sugar per hectare (TATRH) were measured. This research was carried out on Experimental Sugarcane Station of Carpina (EECAC) at the Federal Rural University of Pernambuco, in Carpina - Pernambuco. The results were analyzed by F test (ANOVA) and the significant results have been through a comparison of means by Tukey test, at a level of 5% probability. Regression analysis was used for evaluate nitrogen levels effect. Subsoiling provided a significant gain of stalk yield of 5.53 tons per hectare comparing to no subsoiling irrigated area. However, to the other parameters evaluated (TPH and TATRH) there were not significant differences. Thus, subsoiling provided greater productivity in irrigated and rainfed conditions and partially offsetting the absence of irrigation. In addition, there was a significant interaction of productivity (TCH) with the nitrogen doses, so that increasing nitrogen doses reflected a linear increase in productivity.

Index terms: compaction, chiseling, subsoiler, total recoverable sugar, s*accharum sp.*

INTRODUÇÃO

A cana de açúcar está presente no cenário agrícola do Brasil desde a época colonial. Durante a evolução do seu cultivo até os dias atuais, essa cultura teve sua importância evidenciada, tanto do ponto de vista social como econômico. Sendo assim,

é indiscutível o papel da agroindústria canavieira no desenvolvimento regional e nacional.

Um levantamento realizado pela CONAB (2016), no mês de agosto, apontou aumento na produção nacional de cana de açúcar estimado em 2,9% em relação à safra anterior. No estado de Pernambuco, a produção da cana de açúcar vem sofrendo reduções nas últimas safras, fato que é resultante do déficit hídrico evidenciado nos últimos anos, porém espera-se uma recuperação do rendimento na safra 2016/2017, em relação à safra passada, podendo atingir um aumento de 20,5%, isso devido às precipitações pluviométricas bem distribuídas ocorridas ao longo do ano (CONAB, 2016).

A mecanização agrícola alavancou a agroindústria da cana de açúcar, promovendo a intensificação da produção e a redução dos custos. Além disso, a adoção de tecnologias contribui para o aumento da competitividade (RAMÃO et al., 2007) e para o fortalecimento da indústria do setor.

Nesse contexto, a utilização de adequadas práticas de preparo de solo, correções necessárias, disponibilização de nutrientes, manejo eficiente da irrigação, são técnicas que refletem diretamente no rendimento do canavial. Por outro lado, segundo Tomaz (2013), o uso sucessivo de máquinas e implementos, nas áreas cultivadas, tende a proporcionar alterações em alguns atributos físicos do solo, que por sua vez podem ocasionar variações em alguns parâmetros de qualidade tecnológica da cultura. Esses efeitos são negativos, em sua maioria, especialmente para os valores de densidade, resistência do solo à penetração e aeração do solo (ROQUE et al., 2010).

Com intuito de reduzir o grau de compactação do solo durante os ciclos de cana soca, algumas unidades de produção têm empregado uma prática pós-colheita conhecida como tríplice cultivo, ou seja, realiza-se, simultaneamente, a descompactação das camadas adensadas, a adubação química e o controle mecânico das plantas daninhas (PAULINO et al., 2004). Esta prática busca favorecer a melhor exploração do sistema radicular da cana de açúcar após os sucessivos cortes, potencializando a retenção de umidade, distribuição das raízes e poros do solo, além da melhor absorção de nutrientes.

No entanto, as intervenções mecânicas que visam a descompactação do solo, como subsolagens ou escarificações, normalmente têm efeito temporário, resultando na adição desta prática no custo operacional permanente do cultivo da cana soca (CHAMEN et al, 2015).

A irrigação é uma técnica de relevante importância no manejo da cana de açúcar, auxiliando na busca dos melhores desempenhos produtivos da cultura, tanto na condição de cana planta quanto na condição de cana soca. Oliveira et al. (2010), avaliaram o comportamento de 11 variedades de cana, durante o primeiro ciclo, manejado sob irrigação, e constataram aumento do perfilhamento, do acúmulo de matéria seca e das médias de altura e diâmetro dos colmos das variedades estudadas, atribuindo esse efeito a irrigação plena que foi disponibilizada.

Farias et al. (2009) observaram o aumento de qualidades industriais da cana planta, tais como: açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos solúveis totais (Brix°), Pol, pureza e PCC, à medida que foi aumentada a lâmina de irrigação disponibilizada, comparando-se ainda com o cultivo em sequeiro. E Andrade Júnior et al. (2012), por sua vez, avaliaram o comportamento da cana de açúcar em primeira soca sob diferentes níveis de irrigação, comparando-se também com a condição de sequeiro, observando-se que a máxima produtividade de colmo, álcool e açúcar foi obtida a partir do fornecimento da maior lâmina de irrigação. Em experimento semelhante, Neto et al. (2006), verificaram que a disponibilização de maiores lâminas de irrigação em primeira soca de cana, influenciou na fase inicial do crescimento da soca e no início do máximo desenvolvimento da planta.

Embora vários trabalhos evidenciem a importância da irrigação para a cana de açúcar, deve-se considerar também a condição do solo na qual será manejada a irrigação, como fator relevante e de efeito aditivo sobre a eficiência da disponibilização da água disponível.

Outro aspecto de destaque durante o manejo da cana soca, é a reposição dos nutrientes requeridos pela cultura e, necessários para a manutenção do novo ciclo após o corte; dentre esses nutrientes, o nitrogênio tem sido objeto de estudo de várias pesquisas. Moura et al. (2005) avaliaram a resposta da socaria submetida a diferentes doses de nitrogênio e lâminas de irrigação, constatando ao final que a doses administradas, combinadas a irrigação, proporcionaram um aumento linear no rendimento de colmos, açúcar e álcool. De maneira semelhante, Andrade Júnior et al. (2012) observaram que o aumento da dose de nitrogênio até o valor de 114 $kg.ha^{-1}$, proporcionou o máximo ganho em termos de produção de colmos, açúcar e álcool.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da prática da subsolagem nas entrelinhas de plantio da soqueira de cana após o 2º corte, da adubação nitrogenada e da irrigação sobre a produtividade e a qualidade tecnológica,

por meio da mensuração da produtividade (TCH), percentagem de sacarose aparente (TPH) e de açúcar total recuperável em toneladas por hectare (TATRH).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma área pertencente à Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), situada no Município de Carpina, PE, latitude 7º 51’ 13’’ S, longitude 35º 14’ 10’’ W e 180 m de altitude, durante o período de janeiro de 2015 a outubro de 2015, abrangendo o ciclo de 3ª folha da cana estabelecida na área desde o ano de 2012. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Ams, tropical chuvoso de monção, com verão seco.

A classe predominante de solo é Argissolo Amarelo distrocoeso abrupto com textura areno-argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (SANTOS et al., 2013). Aos 90 dias após o corte correspondente ao 2º ciclo da cana na área foi realizada a adubação a partir dos valores fornecidos pela análise de solo e seguindo a recomendação de Simões Neto (2008) e IPA (2008).

A variedade implantada foi a RB92579, a qual foi liberada no ano de 2003, pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana de Açúcar, da Universidade Federal de Alagoas, ganhando destaque no setor sucroalcooleiro por apresentar excelentes características agrícolas e industriais, tais como: alta produtividade, período útil de industrialização (PUI) longo, baixo florescimento, ótima brotação das socarias, favorecendo a longevidade do canavial. Além disso, a variedade é altamente responsiva a irrigação, tendo suas melhores respostas em cultivos irrigados e em solos com alta capacidade de retenção de água (RIDESA, 2010).

As parcelas experimentais foram delineadas em três blocos casualizados, arranjadas em parcelas subdivididas, abrangendo cinco doses crescentes de nitrogênio e duas condições de manejo do solo após o 2º corte da cana: com e sem realização de subsolagem nas entrelinhas de plantio; cada subparcela foi formada por cinco sulcos de 6 metros de comprimento, espaçados em 1,10 m, conforme pode ser observado na figura 20, resultando em 33 m^2 por unidade experimental, considerando-se uma área útil de 19,8 m^2. Vale salientar que os mesmos tratamentos foram avaliados sob condições irrigadas e de sequeiro, resultando em dois experimentos.

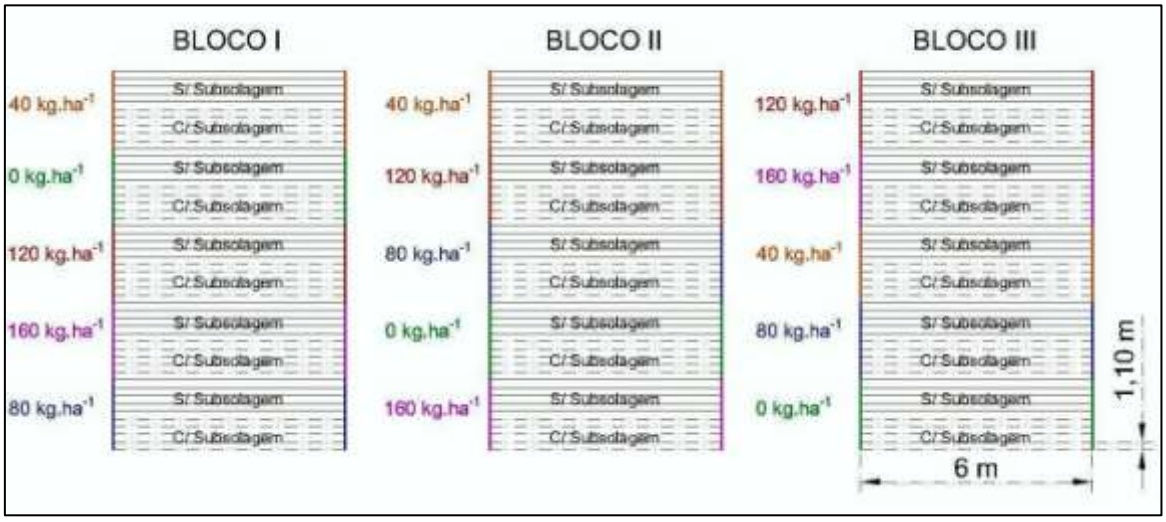

Figura 20. Detalhamento da disposição dos tratamentos e dimensões das unidades experimentais.

Na parcela irrigada foi utilizado aspersor (mini-canhão Plona KS 1500) com o critério de reposição de 100% da ETc, a qual foi estimada a partir da evaporação diária, obtida por meio do tanque classe "A" existente na própria EECAC e do coeficiente cultural (kc) da cana de açúcar para cada estádio fenológico. Durante o ciclo da cultura, o manejo da irrigação considerou os valores de precipitação pluviométrica e evapotranspiração da cultura para o cálculo da lâmina a ser aplicada em cada evento de irrigação. Foram administradas lâminas nos meses de abril, maio, agosto e setembro, totalizando ao final do experimento uma reposição acumulada de 284,4 mm via irrigação, que somada a quantidade precipitada ao longo do ciclo resultou em 983,9 mm.

A subsolagem foi realizada aos 60 dias após o corte do 2º ciclo, sendo utilizado um subsolador com uma haste de 0,60 m de comprimento acoplado a um trator MF 4292, com 105 cv de potência. Cada subparcela era formada por cinco sulcos de 6 metros de comprimento, espaçados em 1,10 m, resultando em 33 m^2 por unidade experimental, considerando-se uma área útil de 19,8 m^2.

O solo da área onde foi implantado o experimento apresentava uma camada compactada no intervalo de 0,10-0,40 m de profundidade com densidade média de 1,61 g cm^{-3} e resistência à penetração de raízes de 2,13 MPa. Dessa forma, a camada subsolada foi de 0,50 m, pois, segundo Lanças (2002) a operação deve ser de 0,05 a 0,10 m mais profunda que a camada compactada. Durante a subsolagem o solo da área

apresentava umidade de 0,11 $m^3.m^{-3}$, uma vez que segundo trabalho realizado por Sasaki e Gonçalves (2005), a faixa de umidade entre 0,07 e 0,13 $cm^3.cm^{-3}$, para um solo de textura média, apresenta maior eficiência na subsolagem.

As doses de nitrogênio testadas foram definidas a partir da dose recomendada como padrão para o Estado de Pernambuco, que é 40 kg ha^{-1} (IPA, 2008), sendo atribuídas quantidades do elemento abaixo e acima do recomendado, utilizando-se assim as doses 0, 40, 80, 120 e 160 $kg.ha^{-1}$ de nitrogênio. A fonte mineral utilizada no fornecimento do nitrogênio foi o sulfato de amônio, contendo 21% de nitrogênio em sua constituição, uma vez que segundo Vitti et al. (2007) este adubo apresenta maior eficiência no aproveitamento do elemento, chegando a ser 30,4 % mais eficiente que a ureia.

Vale salientar que a área estudada foi anteriormente utilizada, nas 1ª e 2ª folhas, em uma experimentação que avaliou o fornecimento de outras cinco doses de nitrogênio distintas, 0, 20, 40, 80 e 120 $kg.ha^{-1}$, de modo que, há a possibilidade de que a cultura, agora na 3ª folha, tenha apresentado reflexos dos tratamentos a qual foi submetida nos experimentos anteriores.

Ao final do experimento, os parâmetros de produtividade avaliados foram toneladas de cana por hectare (TCH) e os parâmetros de qualidade de tecnológica foram toneladas de percentagem de sacarose aparente por hectare (TPH) e toneladas de açúcar total recuperável por hectare (TATRH).

Para a obtenção desses parâmetros pesou-se, durante a colheita, toda a área útil de cada parcela ($19,8m^2$) amarrando-se os colmos em feixes e pesando os mesmos com o auxílio de um dinamômetro com capacidade máxima para 100 kg, pendurado em um tripé móvel. De posse dos valores obtidos na pesagem, foi estimada a produtividade, em toneladas por hectare (TCH) para cada tratamento por meio da equação 2, de modo a extrapolar o valor da produtividade na área útil para hectare.

$TCH = 505{,}05 \times M$ (Equação 2)

Onde:

TCH é a produtividade em toneladas de cana (ton ha^{-1});

M é o valor obtido na pesagem da área útil (kg).

Após a pesagem, foram separados e identificados 10 colmos de cada parcela para a determinação das percentagens de sacarose aparente (Pol) e o açúcar total recuperável (ATR) conforme Fernandes (2011), correspondentes à qualidade

tecnológica da cana de açúcar, no Laboratório de Análises Tecnológicas da Usina Petribu S/A, localizada no município de Lagoa de Itaenga, Pernambuco.

A partir dos resultados da produtividade e dos parâmetros tecnológicos calculou-se as variáveis Pol e ATR expressas em toneladas por hectare, por meio das equações 3 e 4, para cada tratamento.

$$TPH = TCH \text{ x } Pol \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

TPH é a percentagem de Pol hectare (ton ha^{-1})

TCH é a produtividade de cana de açúcar (ton ha^{-1})

Pol é a percentagem de sacarose aparente (%)

$$TATR = \frac{TCH \text{ x } ATR}{1000} \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

TATRH é o açúcar total recuperável (ton ha^{-1})

ATR é o açúcar total recuperável (kg ton^{-1})

Os resultados foram analisados com o auxílio do software estatístico ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2016), disponibilizado pela Universidade Federal de Campina Grande. Realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) para investigação da presença de diferenças significativas nas variáveis avaliadas, efetuando os cálculos sob os moldes de parcelas subdivididas, sendo as parcelas principais representadas pelas doses de nitrogênio e as subparcelas representadas pelas condições com e sem subsolagem, nas áreas irrigadas e de sequeiro.

A partir dos dados referentes às doses crescentes de nitrogênio e produtividade, estabeleceu-se o teste de regressão e verificada a significância dos coeficientes no software ASSISTAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produtividade (TCH) da cana de açúcar foram encontradas diferenças significativas ($P<0,05$) entre a área subsolada e a não subsolada. Considerando o

levantamento da CONAB (2016) a produtividade média para o Estado de Pernambuco é de 53,48 ton ha^{-1}, neste experimento a produtividade encontrada em todos os tratamentos foi superior a média da região. Na área irrigada houve um aumento significativo de 5,53 ton ha^{-1} devido à subsolagem, que corresponde a um ganho de 8,38 % (figura 21). Na área de sequeiro, o aumento na produtividade foi ainda mais acentuado na área subsolada (11,98 ton ha^{-1}) aproximadamente 18%.

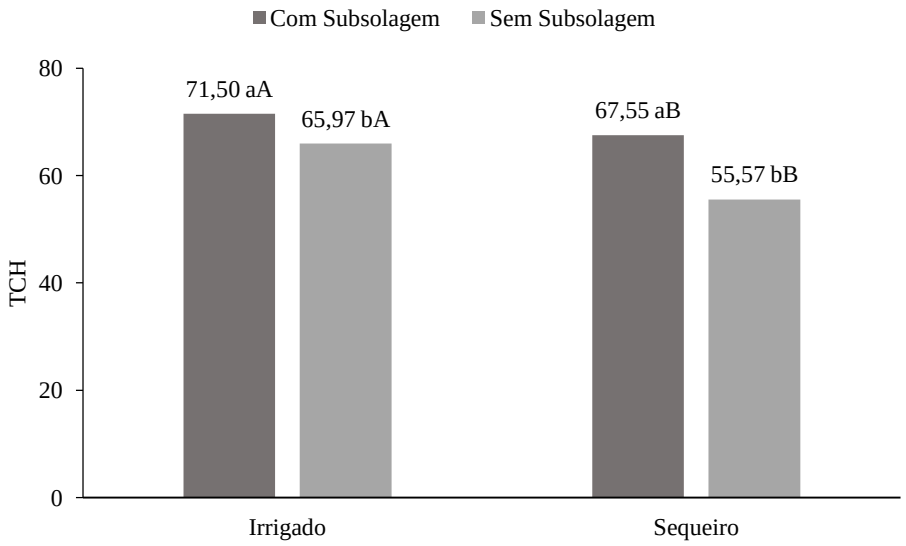

Figura 21. Valores de produtividade (TCH) resultante da interação manejo do solo (com e sem subsolagem) e de umidade (com e sem irrigação).
Letras minúsculas comparam os tratamentos com e sem subsolagem dentro de cada área, irrigada ou de sequeiro. Letras maiúsculas comparam os tratamentos com e sem irrigação dentro de cada área com e sem subsolagem. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Tukey à 0,05.

Analisando a interação entre a subsolagem e a irrigação, verifica-se um efeito significativo e aditivo, ou seja, as áreas que foram subsoladas e irrigadas produziram mais em relação as que foram apenas irrigadas. Além disso, observa-se que a prática da subsolagem nas áreas de sequeiro anulou em parte, o efeito negativo propiciado pela ausência da irrigação, de modo que, a produtividade da área subsolada em sequeiro assemelha-se a produtividade da área irrigada sem subsolagem (Figura 21).

Esses ganhos podem ser atribuídos ao melhor condicionamento físico do solo proporcionado pela subsolagem, uma vez que, a mesma potencializou o desenvolvimento radicular da cultura favorecendo as condições para um maior aproveitamento de água e nutrientes.

Nos tratamentos subsolados o principal fator limitante foi a irrigação, uma vez que, o solo havia sido descompactado, oferecendo condições favoráveis ao crescimento

radicular da cultura, tanto na área irrigada como na de sequeiro. Desse modo, os tratamentos de sequeiro mesmo tendo a disponibilização de água limitada puderam explorar um maior volume de solo e consequentemente aproveitar de maneira mais eficiente a umidade e os nutrientes presentes no solo, minimizando em parte o efeito da ausência da irrigação.

Ramos Júnior et al. (2013) avaliaram a tolerância ao déficit hídrico em algumas gramíneas entre elas o sorgo e o milho, observando que o aumento do crescimento radicular e, consequentemente, no volume de solo explorado propiciou a redução dos reflexos negativos do déficit hídrico sobre a produção das culturas. De maneira semelhante, Sales et al. (2012) observaram o comportamento do sistema radicular da cana de açúcar sob condições de estresse hídrico, concluindo ao final, que o aumento do crescimento radicular é um importante fator que minimiza os efeitos do déficit sobre a planta.

Os tratamentos sem subsolagem em sequeiro, por sua vez, tiveram além da ausência da irrigação, a condição de solo compactado como um fator adicional de limitação; nesse cenário, os tratamentos de sequeiro dispuseram de uma disponibilização de água restrita e uma condição de solo que não favorecia o desenvolvimento radicular, refletindo no potencial de exploração do solo e na capacidade de aproveitamento da umidade e nutrientes.

Esses resultados condizem aos encontrados por Souza et al. (2015), no qual foi avaliada a influência da compactação sobre o desempenho da cana de açúcar, observando o aumento do volume radicular nas áreas com menores graus de compactação, resultando em um aumento na produtividade e no rendimento de açúcar, chegando a 18% e 20 %, respectivamente.

Em trabalho realizado por Paula e Molin (2013), também foram observados resultados semelhantes, onde a produtividade da cana de açúcar foi influenciada negativamente pela compactação do solo, sendo constatada ainda uma redução significativa no comprimento dos colmos, o que foi atribuído aos efeitos negativos da compactação sobre a qualidade física do solo.

Observando-se os efeitos isolados da irrigação e subsolagem, verifica-se que a produtividade foi positivamente influenciada, devido as diferenças significativas ($P<0,05$) entre as áreas com e sem subsolagem (Figura 22A) e nas áreas irrigadas e de sequeiro (Figura 22B). Verifica-se ganhos de 8,76 e 7,17 ton ha^{-1} atribuídos a subsolagem das entrelinhas e a irrigação, respectivamente.

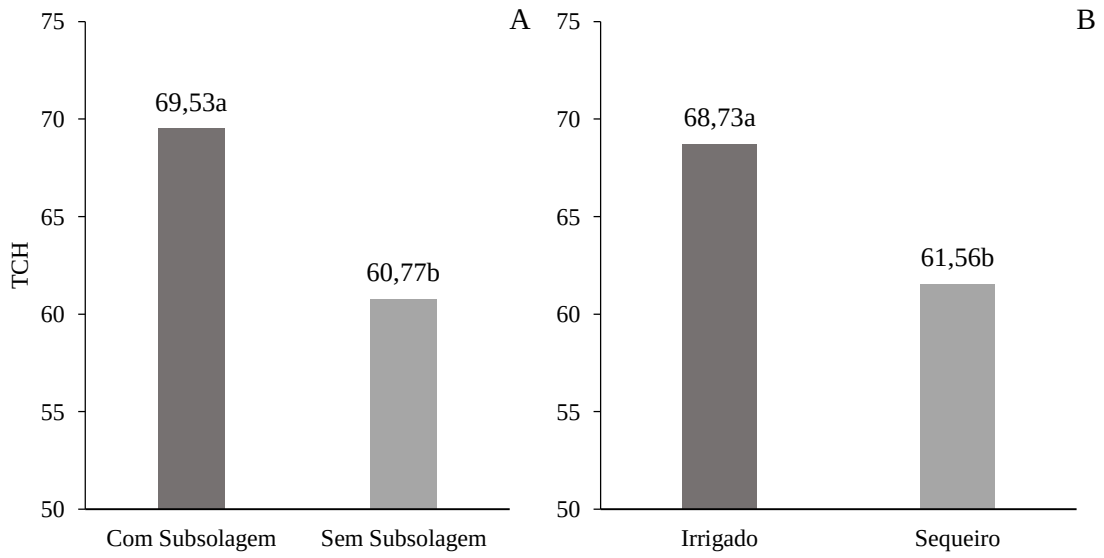

Figura 22. Comparação dos efeitos da subsolagem (A) e da irrigação (B) sobre a produtividade (TCH).
Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey à 0,05, dentro do cada manejo (subsolagem e irrigação).

Gava et al. (2011) compararam as respostas de socas de três variedades de cana de açúcar sob manejo irrigado e sequeiro, observando ao final que a irrigação propiciou um incremento médio de 24% na produtividade quando comparado com manejo de sequeiro. Da mesma forma, Freitas et al. (2009) afirmam que a irrigação da soqueira propicia aumento da produtividade, e consequentemente, a longevidade do canavial.

Com relação ao aumento de produtividade nas áreas subsoladas, Paula (2010), observou que a produtividade da cana de açúcar foi influenciada negativamente pela compactação do solo, sendo constatada ainda uma redução significativa no comprimento dos colmos, fato que foi atribuído aos efeitos negativos da compactação sobre a qualidade física do solo, o que justifica o aumento da produtividade nas áreas subsoladas, como verificado no presente trabalho, pois a operação minimizou os efeitos negativos da qualidade física do solo sobre a cultura.

Dados diferentes foram encontrados por Sá et al. (2016) quando avaliaram o os resultados da escarificação nas entre linhas sobre o crescimento de raízes, a compactação do solo e a produtividade de soqueiras de cana de açúcar no Cerrado durante 5 anos, e concluíram que não houve efeitos significativos nem para produtividade nem no rendimento de açúcar. Provavelmente, isso se deve à resistência à penetração crítica do solo ao crescimento de raízes da variedade de cana SP 86155

usada por Sá et al. (2016) que é de 3,8 MPa, ou seja, essa variedade possui maior capacidade de explorar o solo em área compactadas do que a usada nesse experimento.

As variáveis tecnológicas, TPH e TATRH, não foram significativamente (P<0,05) influenciadas pela prática da subsolagem (Figuras 23 e 24). Similarmente, Souza et al. (2015) evidenciaram que os distintos graus de compactação do solo ocasionado pelo tráfego de máquinas resultaram em diferenças significativas na TCH, porém os parâmetros de qualidade tecnológica não foram influenciados significativamente.

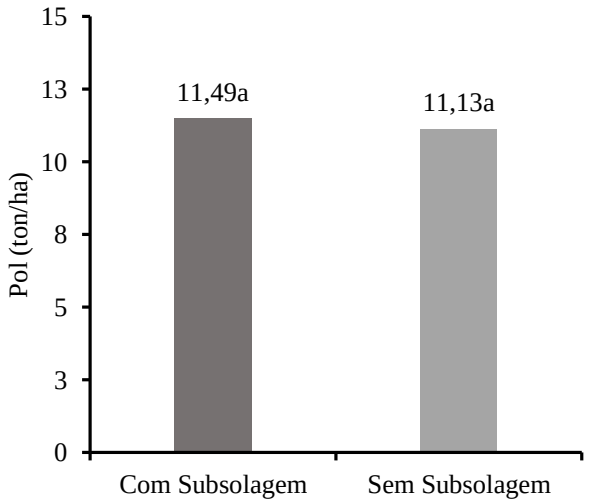

Figura 23. Toneladas de Pol por hectare (TPH) em função da presença ou ausência de subsolagem.
Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey à 0,05.

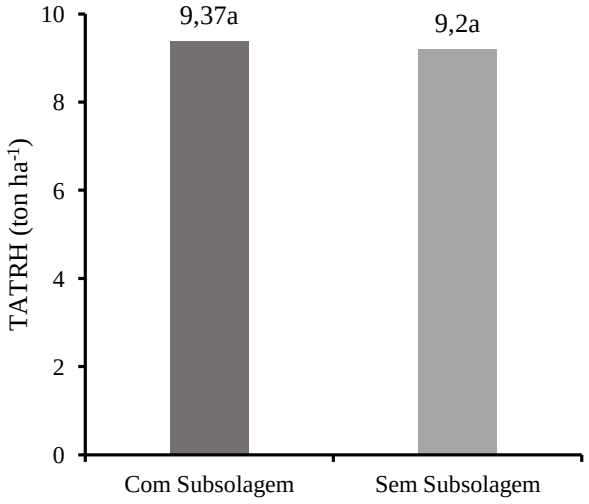

Figura 24. Açúcares Totais Recuperáveis, em toneladas por hectare (TATRH) em função da presença ou ausência de subsolagem.
Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey à 0,05.

Prado et al. (2014) avaliaram os efeitos da descompactação das entrelinhas da soqueira de cana por meio da escarificação e observaram que a operação não propiciou variações significativas na qualidade tecnológica da cana de açúcar. Assim como, Bianchini et al. (2014) apenas encontraram diferenças significativas na produtividade quando associaram escarificação com adubação, no entanto, as variáveis tecnológicas também não refletiram as intervenções destas práticas agrícolas. Desse modo, pode-se inferir que os parâmetros qualitativos da cana de açúcar não são influenciados pela qualidade física do solo.

A análise estatística constatou a existência de interação significativa entre as variáveis doses de N e manejo do solo, como pode ser visto na tabela 9.

Tabela 9. Valores de TCH referentes a interação doses de N e manejo do solo, nas condições irrigadas e de sequeiro.

Doses	Irrigado		Sequeiro	
(kg ha^{-1})	CS	SS	CS	SS
0	59,6 cA	39,2 cB	51,5 bA	31,4 dB
40	65,8 bcA	51,4 cB	68,2 aA	46,9 bcB
80	72,7 abcA	66,7 bA	69,5 aA	50,4 cdB
120	73,4 abA	68,6 bA	74,0 aA	65,1 bA
160	86,0 aB	104,0 aA	74,6 aB	84,0 aA

Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, dentro do tratamento irrigado ou sequeiro.

Verifica-se que o crescimento das doses de N refletiu no aumento da produtividade para todos os tratamentos e que a subsolagem proporcionou um ganho extra, exceto na combinação da dose 160 $kg.ha^{-1}$, sem subsolagem, que acabou superando o tratamento subsolado, tanto na condição irrigada quanto sequeiro.

Borges (2012) avaliando a influência das doses 0, 40, 80, 120 e 160 $kg.ha^{-1}$ de N, evidenciou o aumento da produtividade, com diferenças significativas entre os tratamentos. E, Rhein et al. (2016) avaliaram diferentes doses de N aplicadas via fertirrigação evidenciado ao final do experimento comportamento idêntico ao relatado por Borges (2012), corroborando os resultados obtidos no presente estudo.

A partir dos dados referentes a produtividade atribuída a cada dose de N avaliada, foi possível ainda elaborar regressões que descrevem e ilustram o

comportamento discutido (Figuras 25 e 26). O teste para análise da significância das regressões encontradas nesse trabalho mostrou que os coeficientes da regressão linear são altamente significativos, ou seja, ao nível de 1% de probabilidade. Tal resultado demonstra que há uma relação linear entre produtividade (TCH) e doses crescentes de nitrogênio.

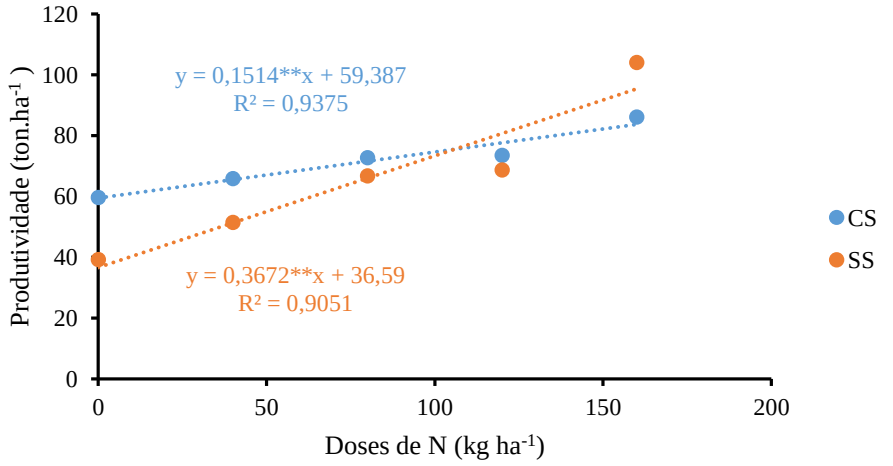

Figura 25. Regressão linear para a produtividade em função das doses de N, no manejo irrigado.
CS: com subsolagem; SS: sem subsolagem.

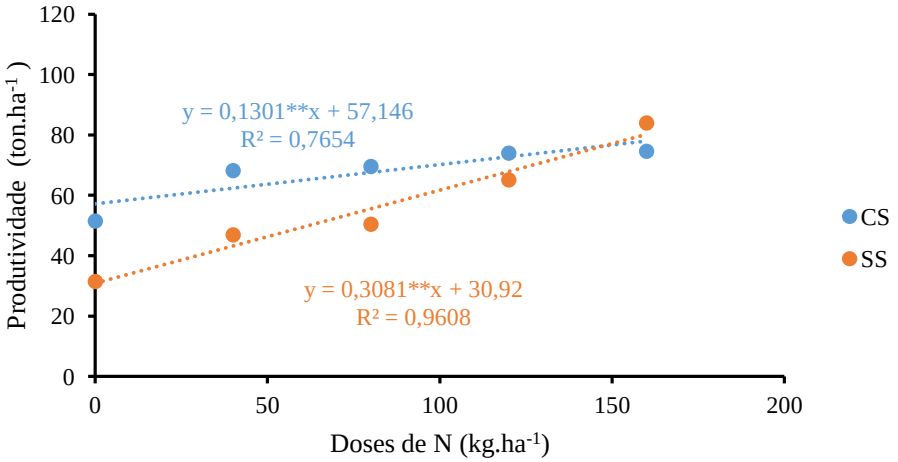

Figura 26. Regressão linear para a produtividade em função das doses de N, no manejo sequeiro.
CS: com subsolagem; SS: sem subsolagem.

CONCLUSÕES

1. A subsolagem realizada nas entrelinhas da soqueira em terceira folha associada à irrigação propiciou um ganho significativo na produtividade de 5,53 ton ha^{-1} de cana em comparação com a área não subsolada.
2. Na área de sequeiro o efeito da subsolagem foi mais acentuado pois promoveu um aumento de 11,98 ton ha^{-1}, indicando que esta prática anulou, em parte, os efeitos negativos da ausência da irrigação, refletida na produtividade alcançada.
3. As variáveis tecnológicas, TPH e TATRH, não foram influenciadas pela subsolagem nas entrelinhas da soqueira em terceira folha.
4. A produtividade (TCH) aumentou nas áreas subsoladas com interação significativa com as doses crescentes de nitrogênio, refletindo em aumento linear de produtividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A subsolagem influencia de maneira positiva, de um modo geral, sobre os atributos físicos do solo: densidade do solo, condutividade hidráulica, resistência do solo à penetração e distribuição de tamanhos dos poros do solo.
2. A subsolagem mostrou-se como uma prática promissora para auxiliar na manutenção do rendimento do canavial proporcionando, inclusive, melhorias em alguns atributos físico-hídricos do solo.
3. A irrigação no cultivo da cana soca é fundamental para o melhor estabelecimento da rebrota da cultura e na obtenção de resposta produtiva em um nível satisfatório, superior à média da região.
4. As variáveis tecnológicas (TATRH e TPH) não refletiram as intervenções das práticas agrícolas propostas neste estudo (subsolagem e irrigação), indicando que não são vulneráveis à qualidade física do solo.
5. A produtividade (TCH) tem relação linear com a adubação nitrogenada na cana soca, independente do manejo de solo adotado (subsolagem ou irrigação).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.3, 539-549, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.47, n.1, p.76-84. Brasília, 2012.

ANGELOTTI NETTO, A.; CRESTANA, S.; NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; PRIMAVESI, O.; SILVA, F.G.B. Novos métodos e equipamentos para caracterização física dos solos. **Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.** v.1, p.3-8.São Carlos, 2004.

ANGELOTTI NETTO, A.; FERNANDES, E. J. Condutividade hidráulica de um latossolo vermelho em pousio e cultivo intensivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 40, n.8, p. 797-802. Brasília, 2005.

ARATANI, R. G. **Qualidade física do solo sobre diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo.** 32 f. Tese-Doutorado em agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp. Jaboticabal, 2008.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 681-691. Viçosa, 2010.

BIANCHINI, A.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; ROSA, R. P.; COLHADO, F.; DAROS, R. F. Soil chiseling and fertilizer location in sugarcane ratoon cultivation. **Engenharia Agrícola**. 34(1), 57-65, 2014. https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100007

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico de ciclo produtivo da cana de açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor no Estado de São Paulo. **47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Porto Alegre, 2009.

BORGES, B. M. M. N. **Resposta de segunda soqueira da cana de açúcar a aplicação de nitrogênio na presença e ausência de silício.** Dissertação-Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Jaboticabal, 2012.

BRANDÃO, F. J. C. **Subsolagem em um latossolo amarelo coeso de tabuleiro costeiro e consequências no desenvolvimento da cultivar Tangor Murcote.** 26 f. Dissertação- Mestrado em Ciências Agrárias, Universidade Federal da Bahia. Cruz da Almas, 2005.

CALFA, C. H; MACEDO, P. V.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, E. O.; BOAS, G. S. V.; REZENDE, J. O.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. S.; SHIBATA, R. T. Efeito da subsolagem sobre atributos físicos de um latossolo amarelo distrófico argissolico cultivado com citros no estado da Bahia. **In: XXXIII Congresso brasileiro de ciência do solo.** Urbelândia, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Esalq. Piracicaba, 1997. 132p.

CAMILOTTI, F; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Engenharia Agrícola.** v. 25, n. 1, p. 189-198. Jaboticabal, 2005.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, n. 01, p. 137-147. Viçosa, 2006.

CHAMEN, W.C.T.; MOXEY, A.P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P.D. Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, v.146, p. 10-25, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília, 2016. 72p.

CORREIA, M. A. R. **Nitrogênio em soqueiras de cana de açúcar cultivada em sistema conservacionista.** 59 f. Tese- Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Unesp. Jaboticabal, 2012.

CRUZ, J. L.; SOUZA, L. S. Efeitos de coberturas vegetais sobre a porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada de um argissolo amarelo distrocoeso cultivado com mamoeiro. **In: Congresso Brasileiro de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura.** Natal, 2010.

DALRI, A. B.; DUENHAS, L. H.; GARCIA, C. J. B.; CRUZ, R. L. Subsurface Drip Irrigation on Sugarcane Yield and Quality. **Revista Irriga**, Botucatu, n. 1, v. 13, p. 1-11, 2008.

DEXTER, A. R. **Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, v.120, p.201-214, 2004.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring Review.** v. 9, p. 184-193, 1989.

FABRIS, L. B. Produtividade e desempenho de cana soca cultivada em diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Agrarian**. v. 6, p. 252-258. Dourados, 2013.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NETO, J. D. Qualidade industrial de cana de açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.13, n.4, p.419-428. Campina Grande, 2009.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 3ed. Piracicaba: STAB. 2011. 416p.

FREITAS, R. G.; BAFFA, D. C. F.; BRASIL, R. P. C. Aumento da produtividade da cana de açúcar através da irrigação. **Revista Nucleus.** Ituverava, 2009.

FURTADO, N.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; FREITAS MOURA, L. M.; MOURA, L. C.; TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana de açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 8, p. 1-11, 2014.

GARBIATE, M. V. **Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférrico submetido à escarificação pós colheita mecanizada de cana de açúcar.** 67 f.

Dissertação – Mestrado em Agronomia. Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2013.

GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; MAUAD, M.; BERGAMIN, A. C. Atributos físicos de latossolo escarificado em área cultivada com cana de açúcar. **Revista Ciências Agrárias.** v. 57, n. 4, p. 335-341. Dourados, 2014.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KOLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana de açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 15, n. 3, p. 250-255. Campina Grande, 2011.

GÓES, G. B.; GREGGIO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana de açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 116-122, 2005.

GOMES JÚNIOR, D. G.; STOLF, R.; PERES, J. G.; REICHARDT, K. Determinação da condutividade hidráulica, densidade e resistência do solo para diferentes tipos de solo em diferentes situações de cultivo. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campo Grande, 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO (IPA). **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. Recife, IPA, 2008. 212p.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy and Jobs.** Abu Dhabi, 2015.

LANÇAS, K.P. Subsolagem ou escarificação. **Revista Cultivar**. v.1, p. 34-37, 2002.

LIMA, P. H.; VOLTARELLI, M. A.; SANTOS, A. F.; BALIEIRO NETO, J. C.; SILVA, R. P. Abalos às soqueiras na colheita de cana-de-açúcar em função dos sistemas de carregamento. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 7, p.136-140, 2015. Suplemento.

LIMA, R. P.; LEON, M. J.; GONZAGA, B. A. B. S.; SANTOS, R. F. Resistência a penetração e densidade do solo como indicativos de compactação do solo em área de

cultivo da cana de açúcar. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do solo**. Fortleza, 2009.

MARCELO, D.N. **Efeito de fontes e doses de nitrogênio em soqueira de cana-deaçúcar, cultivar SP79-1011.** 44 f. Dissertação-Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2008.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS Jr., J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 873-882, 2007.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Revista Ciênc. Agrotec.** v. 29, n.4, p. 753-760. Lavras, 2005.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana de açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.10, n.2, p.283-288. Campina Grande, 2006.

NOLÊTO, D. H.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BRAGA, D.L; MOTA, P. R. D.; RIBEIRO, V. Q. Crescimento da cana de açúcar (2ª soca) sob diferentes níveis de irrigação. **In: XXI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. Petrolina, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balanço Nutricional da Cana de açúcar relacionado a adubação nitrogenada.** 175 f. Tese- Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; JÚNIOR, M. A. L.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana de açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.14, n.9, p.951-960. Campina Grande, 2010.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, A.C.; SIMÕES NETO, D.E.; ROCHA, A.T.; CARVALHO, L.A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade

tecnológica de cana de açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.617-625, 2011.

OTTO, R. **Desenvolvimento radicular e produtividade da cana de açúcar relacionados a mineralização do N no solo e a adubação nitrogenada.** 26 f. Tese-Doutorado em ciências do solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2012.

PAULA, V. R. **Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana de açúcar.** Dissertação-Mestrado em Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2010.

PAULA, V. R. **Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar.** Dissertação-Mestrado em Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2010. 106p.

PAULA, V.R.; MOLIN, J.P. Assessing damage caused by accidental vehicle traffic on sugarcane ratoon. **Applied Engineering in Agriculture**. v.29, f.2, p. 161-169, 2013.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós-colheita de soqueira de cana de açúcar. **Revista brasileira de ciência do solo.** Viçosa, v. 28, p. 911-917, 2004.

PEREIRA, J. C. R. **Composto orgânico e nitrogênio em soqueira de cana de açúcar.** 37 f. Dissertação-Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual Paulista " Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira, 2011.

PRADO, E.A.F.; GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; BERGAMIN, A.C.; ENSINAS, S.C. Efeito da escarificação de um latossolo vermelho em pós colheita de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**. v.37, n.4, p. 414-421, 2014.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos.** SAEAFS, 446 p. Curitiba, 1996.

RAMÃO, F.P.; SCHNEIDER, I.E.; SHIKIDA, P.F.A. Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Paraná. **Revista de Economia Agrícola.** v.54, n.1, p. 21-32, 2007.

RAMOS JÚNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Ciências Agrárias.** v. 34, n.1, p. 46-56. Londrina, 2013.

RAMOS JÚNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Ciências Agrárias.** v. 34, n.1, p. 46-56. Londrina, 2013.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo de Variedades RB de cana de açúcar.** 83P., Curitiba, 2010.

RHEIN, A. F. L. **Doses de Nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento.** 97 f. Tese- Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp. Botucatu, 2012.

RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KOLLN, O. T.; SILVA, M. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 20, n.3, p. 209-214. Campina Grande, 2016.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, 2007.

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, n.7, p. 744-750, 2010.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; FRANZ, C.A.B.; REIN, T.A. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.9, p. 1610-1622, 2016.

SALES, C. R. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, R. S.; DOVIS, V. L.; LAGOA, A. M. M. A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana de açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantina.** v. 71, n.3, p. 319-327. Campinas, 2012.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed., Brasília, 2013. 353p.

SASAKI, C. M. **Desempenho funcional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos.** 47 f. Tese- Doutorado em Resursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2005.

SASAKI, C.M.; GONÇALVES, J.L.M. Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos. **Scientia Forestalis.** n. 69, p.115-124, dez. 2005

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CASTRO, M. B.; OLIVEIRA, L. F. C.; COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana de açúcar: II- Quantificação das restrições às funções edáficas em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v. 30, 414-423. 2010.

SILVA JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; CENTURION, J. F.; OLIVEIRA, E. C. A. Comportamento da cana de açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1489-1500. Uberlândia, 2013.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p.833-842. 2005.

SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Árvore**, p. 547-554. 2011.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research.** V. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. **Noções da Cultura da Cana de açúcar.** Inhumas, 1ed., 105p, 2012.

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da Disponibilidade fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do Estado de Pernambuco.** 89 f.

Tese- Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2008.

SOUZA, G. S. **Controle de tráfego agrícola e seus efeitos nos atributos do solo e na cultura da cana de açúcar.** 40 f. Tese-Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; COOPER, M.; TORMENA, C.A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, p. 270-277, 2015.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em latossolo e argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1159-1167. 2007.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

TOMAZ, H. V. Q. Novas tecnologias para o preparo do solo na cana de açúcar. **Sustentabilidade e inovação no campo.** Uberlândia, 1ed, p. 35-44, 2013.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). UNICADATA. Disponível em: www.unica.com.br. Acesso: 25/10/2016.

VASCONCELOS, A. C. M.; MIRANDA, L. L. D. **Dinâmica do Desenvolvimento Radicular da Cana de açúcar e Implicações no Controle de Nematóides.** Campinas, 2 ed., 17p, 2011.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana de açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.249-256, 2007.