

JARDÊNIA RODRIGUES FEITOSA

**DEMANDA ENERGÉTICA, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO
DE CEBOLA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F311d
2018 Feitosa, Jardênia Rodrigues, 1990-
Demanda energética, produtividade e custos de produção de
cebola em função do sistema de preparo do solo / Jardênia
Rodrigues Feitosa. – Viçosa, MG, 2018.
xv, 144 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Mecanização agrícola. 2. Solo adequado para agricultura.
3. Solos - Umidade. 4. Custo. 5. Cebola - Cultivo - Aspectos
econômicos. 6. Cebola - Rendimento. 7. Produtividade agrícola -
Custos. 8. Energia elétrica - Racionamento. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD. 22. ed. 631.4

JARDÊNIA RODRIGUES FEITOSA

**DEMANDA ENERGÉTICA, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO
DE CEBOLA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de maio de 2018.


Denilson Eduardo Rodrigues


Domingos Sávio Magalhães Valente


Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)


Sânzio Mollica Vidigal


Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

À minha mãe Marly por me apresentar o mundo sem fronteiras dos livros, do conhecimento e dos sonhos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pela oportunidade, orientação, paciência e pelas inúmeras contribuições dadas a minha formação profissional e pessoal.

Ao professor Paulo Roberto Cecon pela coorientação, conselhos e contribuições dadas ao longo da pós-graduação.

Ao professor Mauri Martins Teixeira pela coorientação e sugestões dadas a este trabalho.

Ao professor Jorge Wilson Cortez por me apresentar a área de máquinas e mecanização agrícola e contribuir para que a mesma se tornasse uma grande paixão.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco e ao Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental pela oportunidade de conclusão do curso de Doutorado.

À MM Frutas e Anderson Matos por fornecerem a área e outros recursos necessários ao desenvolvimento deste trabalho, e a Osvaldo Campelo pela ajuda essencial na busca por uma área experimental adequada.

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA), ao Laboratório de Mecanização Agrícola, ao Laboratório de Energia na Agricultura, ao Laboratório de Geotecnia e demais laboratórios da UNIVASF, e aos seus funcionários, pelos equipamentos, estrutura e tempo disponibilizados.

Aos professores do Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental da UNIVASF pelo empréstimo de equipamentos e estruturas, em especial ao Professor Marlon Garrido pela confiança e a professora Nelci Olszewski pelo incentivo e preocupação.

Ao senhor Isaias Cavalcante pelo empréstimo da semeadora e ao senhor Nino pelas orientações e tempo disponibilizado.

Ao Engenheiro Agrônomo Ângelo Vilarim pelas consultorias, amizade e disponibilidade.

Ao pesquisador da Embrapa Semiárido Nivaldo Costa pelas contribuições dadas a realização desse trabalho e por oportunizar o primeiro

contato com as pesquisas, áreas e produtores de cebola da região do Vale do São Francisco.

Aos produtores de cebola do Vale do São Francisco que me receberam em suas propriedades, em especial ao senhor Alexandre Mussato.

A Daniel Leite por me apoiar ao longo dos últimos anos e de seus desafios, sendo peça fundamental das realizações por mim alcançadas; e pelo seu companheirismo e amizade incondicional.

A Daniel Costa pela ajuda, disponibilidade e cuidado, e a sua família por se dispor a me ajudar e compreender as situações vivenciadas ao longo deste trabalho.

À Edival Carvalho, Filipe Maia, Francisco Max e Tales Seabra por embarcarem comigo na aventura/loucura que foi esse experimento, possibilitando a sua realização. Obrigada pela paciência, pelo conhecimento compartilhado, pelo cuidado e pela amizade que criamos.

A Janielle Pereira, Gilmara Granja, Marcus Vinicius e Bruno Macedo pelas inúmeras contribuições dadas a realização desse trabalho e pela amizade; e a todos os estudantes e amigos que contribuíram com a execução do experimento.

A Agrinove Engenharia e a Solucone Jr pelos serviços prestados.

A Marconi Ribeiro pela amizade e consultoria; e a todos os amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola da UFV pelo companheirismo ao longo dos anos de Pós-Graduação, em especial a Anderson Cândido pelas horas de conversa e a boa companhia; e a Juliana, Larissa, Paulo, Emanuel, Amélia, Diego e Remo.

A Anderson Costa pela amizade, cumplicidade e amor partilhados, por todo o suporte físico e emocional dado ao longo dos últimos seis anos e, por me apoiar em cada loucura que eu resolva cometer.

A minha mãe Marly, ao meu pai Joaquim e a minha irmã Isabel Cristina por terem sido além de minha família, meus estagiários e psicólogos durante o doutorado; e por estarem comigo, me apoiarem e incentivarem independentemente dos riscos que possam enxergar nas minhas decisões. Dessa vez vocês participaram de tudo e mais do que nunca essa conquista também é de vocês.

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma ou torceram pela realização desse trabalho, meu muito obrigada.

*“Seria mais fácil fazer como todo mundo faz
O caminho mais curto, produto que rende mais.
Seria mais fácil fazer como todo mundo faz
Um tiro certeiro, modelo que vende mais.
(...)”*

*Mas nós vibramos em outra frequência
Sabemos que não é bem assim.
Se fosse fácil achar o caminho das pedras
Tantas pedras no caminho não seria ruim.”*

*“(...) Afinal de contas
O que nos trouxe até aqui, medo ou coragem?
Talvez nenhum dos dois.
Sopra o vento, um carro passa pela praça
E já foi, já foi
Por acaso eu fui à luta, eu quis pagar pra ver
Aonde leva essa loucura (...).”*

Humberto Gessinger

BIOGRAFIA

JARDÊNIA RODRIGUES FEITOSA, filha de Joaquim Rodrigues Nogueira de Alencar e Antonia Marly Alves Feitosa, nasceu em Juazeiro do Norte, Ceará, em 17 de agosto de 1990.

De 2004 a 2006, formou-se no ensino médio na Escola de Ensino Fundamental e Médio Dona Carlota Távora, em Araripe, Ceará.

De 2007 a 2012 graduou-se em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Em 2012, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, área de concentração em Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2014, submeteu-se aos exames de defesa da dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Em 2014, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado, área de concentração em Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em maio de 2018, submeteu-se aos exames de defesa de tese, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6

CAPÍTULO I

Demanda energética das operações mecanizadas para o cultivo de cebola em função do teor de água e de sistemas de preparo do solo.

Resumo	10
Abstract	25
1. Introdução	12
2. Material e Métodos	17
2.1. Caracterização da área experimental	17
2.1.1. Características físicas do solo	17
2.1.2. Limites de consistência	18
2.2. Tratamentos avaliados	19
2.2.1. Sistemas de preparo do solo	19
2.2.2. Teores iniciais de água do solo	19
2.3. Máquinas e implementos utilizados	22
2.3.1. Tratores	22
2.3.2. Arado	24
2.3.3. Grade	24
2.3.4. Enxada rotativa	25
2.3.5. Semeadora	26
2.4. Instrumentação para a coleta de dados e parâmetros operacionais do trator	27
2.4.1. Velocidade do trator	27
2.4.2. Consumo de combustível	28
2.4.3. Força de tração	29
2.5. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente	30
2.5.1. Potência na barra de tração	30
2.5.2. Capacidade operacional	31
2.5.3. Tempo necessário à implantação da cultura	31

2.5.4. Demanda energética das operações mecanizadas.....	32
2.5.4.1. Consumo de combustível por área trabalhada.....	32
2.5.4.2. Demanda total de energia do combustível.....	32
2.5.4.3. Demanda específica de energia.....	33
2.5.4.4. Eficiência de utilização do combustível.....	33
2.5.4.5. Demanda energética nos tratamentos avaliados.....	33
2.6. Análise estatística.....	34
3. Resultados e discussão.....	35
4. Conclusões.....	41
5. Referências Bibliográficas.....	42

CAPÍTULO II

Produtividade da cebola em função do sistema de preparo do solo em diferentes teores de água

Resumo.....	47
Abstract.....	62
1. Introdução.....	50
2. Material e Métodos.....	53
2.1. Caracterização da área experimental.....	54
2.1.1. Características físicas.....	54
2.1.2. Análise química.....	54
2.2. Tratamentos avaliados.....	55
2.2.1. Sistemas de preparo do solo.....	55
2.2.2. Teores de água do solo.....	56
2.3. Máquinas e implementos utilizados.....	56
2.3.1. Trator.....	56
2.3.2. Arado.....	58
2.3.3. Grade.....	58
2.3.4. Enxada rotativa.....	59
2.3.5. Semeadora.....	60
2.4. Plantio e manejo da cultura.....	60
2.4.1. Sementes.....	61
2.4.2. Irrigação.....	61
2.4.3. Aplicação de fertilizantes.....	63

2.4.4. Controle fitossanitário.....	64
2.4.5. Controle de plantas daninhas.....	64
2.5. Avaliação da resposta da cultura aos tratamentos aplicados.....	65
2.5.1. Velocidade de emergência de plântulas.....	65
2.5.4. Estande final.....	67
2.5.5. Classificação dos bulbos e produtividade por classe de diâmetro transversal.....	67
2.5.6. Produtividade comercial de bulbos.....	69
2.5.7. Diâmetro médio dos bulbos.....	69
2.6. Análises estatísticas.....	70
3. Resultados e discussão.....	71
3.1. Velocidade de emergência de plântulas (IVE).....	71
3.2. Distribuição longitudinal de plantas.....	73
3.3. Estande final.....	74
3.4. Produtividade total da cebola.....	76
3.5. Produtividade comercial de bulbos de cebola.....	78
3.6. Produtividade de bulbos por classe de diâmetro transversal.....	79
3.7. Diâmetro médio dos bulbos.....	81
4. Conclusões.....	82
5. Referências bibliográficas.....	83

CAPÍTULO III

Custos de produção de cebola em função de diferentes teores de água e sistemas de preparo de solo

Resumo.....	87
Abstract.....	102
1. Introdução.....	89
2. Material e Métodos.....	92
2.1. Tratamentos avaliados.....	92
2.1.1. Sistemas de preparo do solo.....	92
2.1.2. Teores de água do solo.....	93
2.2. Caracterização da área experimental.....	93
2.2.1. Características físicas do solo.....	93
2.3. Máquinas e implementos utilizados.....	94

2.4. Custo de produção da cebola.....	96
2.4.1. Custo das operações mecanizadas.....	96
2.4.1.1. Custos fixos	96
2.4.1.1.1. Depreciação	97
2.4.1.1.2. Juros.....	97
2.4.1.1.3. Abrigos e seguros.....	98
2.4.1.2. Custos variáveis	99
2.4.1.2.1. Reparos e manutenções	99
2.4.1.2.2. Lubrificantes	100
2.4.1.2.3. Mão de obra	102
2.4.1.2.4. Custo do combustível.....	102
2.4.1.3. Custo total das operações mecanizadas nos tratamentos avaliados	104
2.5. Custo do sistema de irrigação	104
2.5.1. Custo fixo	105
2.5.1.1. Depreciação	105
2.5.1.2. Custo de oportunidade (juros).....	105
2.5.2. Custo variável.....	106
2.5.2.1. Custos operacionais	106
2.5.2.2. Custo de manutenção	107
2.5.3. Custo total do sistema de irrigação	107
2.6. Custo dos insumos	107
2.7. Custo das operações manuais	109
2.8. Custo de produção	111
2.9. Indicadores de eficiência econômica.....	111
2.9.1. Receita bruta	111
2.9.2. Receita líquida.....	111
2.10. Análise dos dados	112
3. Resultados e discussão	114
3.1. Custo das operações mecanizadas.....	114
3.1.1. Custos fixos	114
3.1.2. Custos variáveis	115
3.1.3. Custo total das operações mecanizadas.....	116
3.2. Custo do sistema de irrigação	118
3.3. Custo dos insumos	118

3.4. Custo das operações manuais	119
3.5. Custo de produção	121
3.6. Indicadores de eficiência econômica: receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno.	124
4. Conclusões	129
5. Referências bibliográficas	130
CONCLUSÃO GERAL	134

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados obtidos para parâmetros de desempenho do trator e de demanda energética de acordo com as operações realizadas em cada combinação de tratamentos.....	136
APÊNDICE B – Resumos das análises de variância	140

RESUMO

FEITOSA, Jardênia Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2018. **Demanda energética, produtividade e custos de produção de cebola em função do sistema de preparo do solo.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

A cebola é uma cultura hortícola de relevância econômica, cujo cultivo é realizado em diversas regiões brasileiras, principalmente por pequenos e médios produtores. A rentabilidade dessa atividade é influenciada pela sazonalidade dos preços, pela produtividade alcançada e pelo custo de produção. Modificações nos métodos usados no cultivo da cebola podem resultar na redução da demanda energética e do custo de produção, elevando a rentabilidade. Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de teores de água e de sistemas de preparo do solo na demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola, na sua resposta e no seu custo de produção. Para tanto, desenvolveu-se um experimento em que foram avaliados três sistemas de preparo do solo: P1 (aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento + semeadura), P2 (duas gradagens + encanteiramento + semeadura), P3 (uma gradagem + encanteiramento + semeadura); e quatro teores de água do solo: 12, 15, 23 e 26%. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os fatores dispostos em esquema de parcelas subdivididas. A demanda energética das operações mecanizadas foi avaliada utilizando-se os parâmetros consumo de combustível por área trabalhada, demanda total de energia e demanda específica de energia. Já o desenvolvimento inicial e o rendimento da cultura em função dos tratamentos, foram avaliados por meio da determinação dos parâmetros índice de velocidade de emergência das plantas, regularidade da distribuição longitudinal, estande final, produtividade total e comercial da cultura e produtividade por classe de diâmetro transversal dos bulbos de cebola. Foram determinados ainda o custo de produção, a receita líquida e a taxa de retorno sobre o investimento, parâmetros utilizados na avaliação econômica do cultivo. Verificou-se que o sistema de preparo com menor número de operações (P3) foi o mais adequado à implantação da cultura do ponto de vista energético. A variação do teor de água do solo apresentou efeito quadrático sobre a velocidade de emergência, o estande final e a produtividade total de cebola. A produtividade comercial não foi

significativamente influenciada pelos tratamentos. O preparo do solo com uma gradagem e uma operação de encanteiramento, quando realizadas no solo com teor de água de 23%, resultou em menor custo unitário de produção, maior receita bruta, maior receita líquida e no percentual mais elevado para a taxa interna de retorno do investimento.

ABSTRACT

FEITOSA, Jardênia Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2018. **Energy demand, yield and production costs of onion in function of the soil tillage system.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisers: Mauri Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

The onion is a horticultural crop of economic relevance, whose cultivation is carried out in several Brazilian regions, mainly by small and medium producers. The profitability of this activity is influenced by the seasonality of prices, yield achieved, and the cost of production. Modifications to the methods used in onion cultivation may result in reduced energy demand and lower production cost, increasing profitability. The objective of this work was to evaluate the influence of water contents and soil tillage systems on the energy demand of the mechanized operations required to implantation the onion culture, its response and its cost of production. For that, an experiment was developed in which three tillage systems of soil were evaluated: P1 (plowing + two harrowing + two operations of build seedbeds + seeding), P2 (two harrowing + one operation of build seedbeds + seeding), P3 (one harrowing + one operation of build seedbeds + seeding); and four soil water contents: 12, 15, 23 and 26%. A randomized complete block design with four replications was used, and the factors were arranged in split-plots scheme. The energy demand of the mechanized operations was evaluated using the parameters fuel consumption per area worked, total energy demand and specific energy demand. The initial development and yield of the crop according to the treatments, were evaluated through the determination of the parameters emergence speed index of the plants, regularity of the longitudinal distribution, final stand, total and commercial yield of the crop and yield per cross-sectional diameter class of onion bulbs. The production cost, net revenue and rate of return on investment were also determined, parameters used in the economic evaluation of the crop. It was verified that the preparation system with the lowest number of operations (P3) was the most adequate to the implantation of the culture from the energetic point of view. The variation of the water content of the soil showed a quadratic effect on the speed of emergence, the final stand and the total productivity of onion. Commercial productivity was not significantly influenced by treatments. The use of the tillage system consisting of one harrowing and one operation of build seedbed, followed by seeding of the onion, when carried out in soil with

water content of 23%, resulted in lower unit cost of production, higher gross revenue, higher net revenue and the higher percentage for the internal rate of return on investment.

INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma planta herbácea pertencente à família *Alliaceae*, cultivada comercialmente com destino tanto ao consumo *in natura* quanto ao processamento, apresentando maior volume de consumo e valor econômico quando comparada as demais espécies do gênero *Allium* também cultivadas.

Suas plantas apresentam folhas tubulares e cerosas, cujas bainhas formam o pseudocaule. A parte inferior do pseudocaule dá origem ao bulbo, na base do qual se desenvolve o caule verdadeiro que tem formato de um disco compacto. O sistema radicular da cebola é fasciculado, possuindo diâmetro em torno de 30 cm e concentrando-se nos primeiros 40 cm de profundidade do solo (OLIVEIRA et al., 2015).

A cultura da cebola se desenvolve melhor em solos de textura média, com pH de 6,0 a 7,0, ricos em matéria orgânica e com boa drenagem, que favoreçam o desenvolvimento de raízes e bulbos (COSTA; LEITE, 2005). Seu desenvolvimento é fortemente influenciado por fatores ambientais, sendo o fotoperíodo e a temperatura do ar os mais críticos. A temperatura exerce controle sobre o crescimento da cebola desde a emergência das plântulas até o crescimento completo das folhas. Já a duração do fotoperíodo e sua interação com a temperatura, bem como a intensidade e qualidade da radiação, controlam o processo de bulbificação (OLIVEIRA et al., 2014).

A formação dos bulbos se dá pelo acúmulo de sólidos solúveis nas bases das bainhas das folhas da cebola, processo que só ocorre quando o fotoperíodo disponível é superior ao exigido pela variedade cultivada, seja ela precoce (exige fotoperíodo abaixo de 12 horas), intermediária (12-14 horas) ou tardia (acima de 14 horas).

Uma vez que o bulbo atinge seu tamanho máximo de acordo com o potencial produtivo da cultivar e as condições ambientais, as raízes morrem e ocorre o amolecimento da região inferior do pseudocaule que tomba sobre o solo, processo denominado estalo e que indica a completa maturação do bulbo e conseqüentemente, o ponto de colheita da cultura (SILVA et al., 2005; BOTREL et al., 2015).

A cebola é bastante sensível ao déficit hídrico tornando necessário o uso da irrigação como forma de garantir a disponibilidade de água no solo, e em

alguns casos de viabilizar a realização de mais de um ciclo produtivo por ano (BOAS et al., 2011). A qualidade dos bulbos produzidos é um atributo fundamental para garantir a competitividade econômica da cultura e está associada normalmente à sua uniformidade em relação ao tamanho, formato, cor, sabor, firmeza e sanidade (COSTA et al., 2002).

O cultivo da cebola no Brasil é realizado por meio dos sistemas convencional, de plantio direto e cultivo mínimo, os quais são combinados com diferentes métodos de implantação. Os principais métodos de implantação utilizados são a semeadura direta e o transplante de mudas. A escolha do sistema e método a serem usados varia de uma região para outra e é derivada principalmente do nível tecnológico do cultivo, sendo que cada sistema possui especificidades que influenciam o desenvolvimento e o rendimento final da cultura.

O sistema de cultivo convencional da cebola, para o qual é recomendado o preparo do solo por meio da realização de operações de aração (geralmente a 30 cm de profundidade) e gradagem (em número variável), podendo estas serem ou não seguidas do levantamento de canteiros ou da formação de sulcos, é o mais utilizado na produção brasileira. A realização periódica dessas operações foi responsável pelo agravamento dos processos erosivos do solo da região produtora de cebola de São José do Pardo - SP, sendo esta a principal motivação inicial para a adoção dos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto da cebola (FACTOR et al., 2012).

O cultivo de cebola no Brasil ocorre nas regiões Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), Sudeste (São Paulo e Minas Gerais), Centro-Oeste (Goiás) e Nordeste (Pernambuco e Bahia). De acordo com dados divulgados pelo IBGE estima-se que foram produzidas 1.719.412 toneladas de cebola na safra de 2017 (IBGE, 2018).

No Nordeste a produção está concentrada na região de Irecê – BA e na região do Vale do São Francisco. Fazem parte desta última os municípios de Casa Nova, Sento Sé, Sobradinho, Remanso, Juazeiro, Curaçá, Paulo Afonso, Petrolina, Santa Maria da Boa Vista, Orocó, Belém do São Francisco, Cabrobó e Petrolândia, que juntos somaram nos anos de 2016 e 2017 áreas plantadas de 5000 e 3700 hectares, respectivamente (CEPEA, 2018).

Na região do Vale do São Francisco a cebola se apresenta como uma alternativa de investimento em relação à fruticultura irrigada, principal atividade

agrícola local. Seu cultivo conta com vantagens em relação às demais regiões produtoras, destacando-se a possibilidade de ser realizado durante todo o ano, em virtude das condições climáticas e do fato de ser praticado principalmente nos perímetros públicos de irrigação, o que minimiza a dependência das chuvas (SILVA; SOBRINHO, 2014).

O desempenho agrônômico da cebola, assim como das demais culturas, está relacionado tanto à sua adaptação ao local de cultivo, quanto às práticas de manejo adotadas, por meio das quais se busca propiciar condições que auxiliem na expressão do máximo potencial genotípico das cultivares escolhidas (MENEZES JÚNIOR; VIEIRA NETO, 2012).

Os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas no cultivo da cebola na região do Vale do São Francisco, estão relacionados principalmente ao desenvolvimento, seleção ou adaptação de cultivares às condições ambientais da região e, à otimização do uso da irrigação, com a adoção recente do sistema de irrigação por gotejamento, sendo observados poucos estudos no que diz respeito aos demais fatores que influenciam esse processo produtivo.

A produção local caracteriza-se por ser realizada principalmente por pequenos produtores, que são normalmente atraídos pelas altas receitas alcançadas com o plantio da hortaliça, desenvolvendo cultivos pouco tecnificados, cujas técnicas de manejo são baseadas principalmente em constatações empíricas.

De acordo com Silva e Sobrinho (2014), a baixa produtividade e a falta de conhecimento técnico são fatores que tem muitas vezes inviabilizado economicamente e ambientalmente o cultivo da cebola na região do Vale do São Francisco, sendo observados diversos casos em que os produtores abandonaram a atividade devido à elevação dos custos de plantio e a inconstância dos preços, que incorrem na perda dos investimentos realizados.

Pôrto et al. (2006) observaram na época de publicação do seu trabalho a ocorrência de modificações no modo de produção de cebola a nível nacional, com o objetivo tanto de elevar a produtividade e/ou a qualidade do bulbo, quanto de minimizar os custos de produção, influenciando diretamente a rentabilidade da cultura e sua viabilidade econômica. Os autores citaram a implantação por meio da semeadura direta como sendo o fator que estava recebendo maior atenção dos produtores, motivada principalmente pela

redução do uso de mão de obra em operações de formação e transplante de mudas de cebola que esse método proporcionava.

A dificuldade em reunir e custear a mão de obra necessária ao cultivo da cebola utilizando-se o método de transplante foi também o fator responsável pelo processo de transição entre esse método de implantação e o uso de semeadura direta, pelo qual passa atualmente a região do Vale do São Francisco, trazendo benefícios como a maior capacidade operacional e menor custo de produção.

Araújo et al. (2011) destacaram que devido ao alto custo de produção, à perecibilidade do produto e as fortes variações estacionais dos preços, o cultivo da cebola só se torna uma atividade lucrativa se os produtores conseguirem alcançar alta produtividade física e rentabilidade econômica. A utilização de “novas” tecnologias como a semeadura direta, a redução da demanda energética atrelada ao uso de insumos e combustíveis fósseis, o planejamento adequado das etapas de cultivo e o controle dos custos de produção são maneiras pelas quais os produtores podem alcançar essa almejada rentabilidade.

De acordo com Farias (2012), o aumento da demanda por alimentos e energia, associada à necessidade de preservação ambiental têm exigido o aprimoramento e o desenvolvimento contínuo de conhecimentos e tecnologias que resultem na elevação da produtividade e na racionalização do uso de insumos, recursos ambientais e meios de produção, garantindo a sustentabilidade das atividades agrícolas, processo que passa necessariamente pelo aperfeiçoamento dos sistemas de produção.

A eficiência energética, definida como a capacidade de se obter a mesma produção com o mínimo de recursos utilizados, é um requisito fundamental para que se obtenha uma produção agrícola sustentável, estando diretamente relacionada às práticas de manejo dentro do processo produtivo (KHALIL et al., 2017). Segundo Hernanz et al. (2014), a análise de energia, juntamente com a análise econômica e ambiental, são ferramentas fundamentais na avaliação do comportamento de qualquer sistema agrícola.

Tomando por base as observações feitas quanto às características dos sistemas de cultivo de cebola comumente utilizados na região do Vale do São Francisco, supõe-se que a adoção de um sistema de cultivo conservacionista fundamentado na redução do número de operações de preparo do solo e na

realização destas em condições adequadas de consistência do solo, seja capaz de reduzir a demanda energética das operações mecanizadas e os custos de produção, sem prejuízo para a produtividade comercial da cultura, ou seja, mantendo-se ou elevando-se a eficiência do processo.

Uma vez que em qualquer atividade produtiva a escolha do método ou processo de produção é feita com base nas eficiências técnica e econômica, a realização de mudanças no sistema de cultivo da cebola na região do Vale do São Francisco pressupõe a avaliação dos efeitos das modificações propostas sobre a eficiência e rentabilidade da atividade.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de teores de água e de sistemas de preparo do solo na demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola, na resposta da cultura e no seu custo de produção, contribuindo com informações de cunho científico para a tomada de decisão quanto ao melhor sistema de cultivo a ser utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. L. P.; LIMA, J. R. F.; CORREIA, R. C.; YURI, J. E. Avaliação dos custos de produção e viabilidade econômica da cebola no Vale do Submédio São Francisco, em 2010. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 51, 2011. Viçosa – MG. **Anais...** Viçosa: ABH, 2011.

BOAS, R. C. V.; PEREIRA, G. M.; SOUZA, R. J.; CONSONI, R. Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 117-124, 2011.

BOTREL, N.; MALDONADE, I. R.; OLIVEIRA, V. R. Colheita, comercialização e pós-colheita de cebola. In: **Cultura da cebola: tecnologia de produção e comercialização**. Lavras: Editora UFLA, 2015. Cap. 12, p. 341 - 370.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA Anuário 2017-2018. **Hortifruti Brasil**, dezembro 2017/janeiro 2018. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2.aspx>> Acesso em: 04 fev. 2018.

COSTA, N. D.; LEITE, D. L.; SANTOS, C. A. F.; CANDEIA, J. A.; VIDIGAL, S. M. Cultivares de cebola. **Informe Agropecuário**, v 23, n. 218, p. 20-27, 2002.

COSTA, N. D.; LEITE, W. M. Potencial agrícola do solo para o cultivo da cebola. In: CURSO [SOBRE] MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2, 2005, Juazeiro-BA. **Palestras...** Juazeiro, BA: MAPA; SFA-BA; Embrapa Semiárido; Embrapa Solos, 2005.

FACTOR, T. L.; SILVEIRA, J. M. C.; PURQUERIO, L. F.; CALORI, A. H.; ROCHI; LIMA JÚNIOR, S. Produção de cebola em função do sistema de cultivo e método de estabelecimento de plantas. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, 2012.

FARIAS, J. R. B. Apresentação... In: **Sistemas e Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Documentos 335, 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2012.

HERNANZ, J. L.; SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; NAVARRETE, L.; SÁNCHEZ, M. J. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. **Field Crops Research**, v. 166, p. 26-37, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da produção agrícola**. SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática). Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#notas-tabela> > Acesso em: 04 fev. 2018.

KHALIL, A.; DHEHIBI, B.; KASSAM, S. N.; AW-HASSAN, A. Energy consumption in onion and potato production within the province of El Hajeb (Marrocos): Towards energy use efficiency in commercialized vegetable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 1, 2017.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; VIEIRA NETO, J. Produção da cebola em função da densidade de plantas. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 733-739, 2012.

OLIVEIRA, V. R.; LEITE, D. L.; SANTOS, C. A. F.; RESENDE, G. M. Botânica, melhoramento genético e cultivares de cebola. In: **Cultura da cebola: tecnologia de produção e comercialização**. Lavras: Editora UFLA, 2015. Cap. 3, p. 83 - 139.

OLIVEIRA, V. R.; MAROUELLI, W. A.; MADEIRA, N. R. Influência de fatores climáticos na produção de cebola. **Nosso Alho**. n. 19, 2014.

PÔRTO, D. R. Q.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de macronutrientes pela cebola 'Optima' estabelecida por semeadura direta. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 4, p. 470 – 475, 2006.

SILVA, D. J. H.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F.L. Cultura da cebola. In: **Olericultura – teoria e prática**. Viçosa, MG: Departamento de Fitotecnia – Setor de Olericultura, UFV, 2005. Cap. 23, p. 355-369.

SILVA, T. P.; SOBRINHO, M. J. V. M. Estrutura de custos da produção de cebola amarela e sua viabilidade econômica. Um estudo de caso no município de Sento Sé – BA. In: Congresso Brasileiro de Custos, XXI, 2014. Natal – RN. **Anais...** São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, 2014.

CAPÍTULO I

Demanda energética das operações mecanizadas para o cultivo de cebola em função do teor de água e de sistemas de preparo do solo.

Demanda energética das operações mecanizadas para o cultivo de cebola em função do teor de água e de sistemas de preparo do solo.

Resumo: A necessidade de elevar a produção de alimentos sem aumento da área cultivada e a baixa disponibilidade de mão-de-obra têm contribuído para elevar os índices de mecanização na agricultura. Conseqüentemente, a demanda por energia tem crescido, com destaque para a energia proveniente dos combustíveis fósseis. A cebola é uma das culturas cujo cultivo tem alta demanda energética e custos elevados. Estimativas da demanda energética das operações de preparo do solo e semeadura podem contribuir para a escolha dos melhores métodos a serem adotados na produção dessa hortaliça. Objetivou-se com este trabalho avaliar a demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função de diferentes teores de água e sistemas de preparo do solo. Foram avaliados três sistemas de preparo: P1 (aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento + semeadura), P2 (duas gradagens + encanteiramento + semeadura), P3 (uma gradagem + encanteiramento + semeadura); e quatro teores de água do solo: 12, 15, 23 e 26%. O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Nas parcelas foram dispostos os teores de água e nas subparcelas, os sistemas de preparo. A demanda energética foi avaliada por meio dos parâmetros consumo de combustível por área trabalhada, demanda total de energia, demanda específica de energia e eficiência de utilização do combustível. Os sistemas de preparo afetaram significativamente a demanda energética das operações. O sistema P1 apresentou os maiores valores para todos os parâmetros avaliados, o que está associado ao maior número de operações realizado no mesmo. Os teores de água apresentaram efeito linear na demanda específica de energia, verificando-se no sistema P1 que o incremento de 1% no teor de água do solo eleva a demanda energética em 3,43 MJ ha⁻¹. O sistema P3 mostrou-se o mais adequado do ponto de vista energético à implantação da cultura da cebola.

Palavras-chave: preparo do solo, semeadura direta de cebola, consumo de combustível

Energy demand of mechanized operations for onion cultivation in function on water content and soil tillage systems

Abstract: The need to increase food production without increasing the area under cultivation and low labor availability have contributed to raising mechanization rates in agriculture. Consequently, the demand energy has grown, with emphasis on energy of fossil fuels. The onion is a of the crops whose cultivation has high energy demand and high costs. Estimates of the energy demand of the operations of tillage and seeding can contribute to the selection of the best methods to be adopted in the production of this vegetable. The objective of this work was to evaluate the energy demand of the mechanized operations necessary to implantation the onion culture in function of different water contents and soil tillage systems. Three tillage systems were evaluated: P1 (plowing + two harrowing + two operations of build seedbeds + seeding), P2 (two harrowing + one operation of build seedbeds + seeding), P3 (one harrowing + one operation of build seedbeds + seeding); and four soil water contents: 12, 15, 23 and 26%. The experiment was installed in a split - plot scheme, in a randomized complete block design, with four replications. In the plots were arranged the water contents and in the subplots, the tillage systems. The energy demand was evaluated through the parameters fuel consumption per area worked, total energy demand, specific energy demand and fuel utilization efficiency. The tillage systems significantly affected the energy demand of the operations. The P1 system presented the highest values for all evaluated parameters, which is associated with the greater number of operations performed on it. The water content had a linear effect on the specific energy demand, being verified in the P1 system that the 1% increase in soil water content raises the energy demand by 3,43 MJ ha⁻¹. The P3 system proved to be most energy efficient for implantation of the onion crop.

Keywords: soil tillage, direct onion seeding, fuel consumption

1. Introdução

O processo de produção agrícola utiliza grande quantidade de energia, a qual é necessária nas etapas de preparo do solo, semeadura, pulverização, fertilização, irrigação, colheita, transporte e armazenamento dos produtos. As máquinas agrícolas são responsáveis por grande parte dessa demanda, tanto de forma indireta (energia dos materiais que as compõem, energia gasta no processo de fabricação, etc.); quanto direta, através da utilização da energia química dos combustíveis para transformação em energia mecânica utilizada nas operações acima citadas.

O avanço da mecanização na agricultura moderna elevou o requerimento de energia proveniente de combustível fóssil (SAAD et al., 2016). O aumento do preço desses combustíveis por sua vez, tem elevado rapidamente o custo de produção das culturas, fazendo com que os agricultores tentem escolher sistemas que exijam menor quota de combustível (SAFA; SAMARASINGHE, 2013), e abrindo espaço para o desenvolvimento de pesquisas que visem otimizar seu uso.

Hamzei e Seyyedi (2016) afirmaram que o preparo do solo e a aplicação de produtos químicos são os maiores consumidores de energia e trabalho nas práticas agrícolas atuais e, que a seleção de um método de preparo apropriado e a redução do uso de produtos químicos pode aperfeiçoar o uso de energia e reduzir os custos. Para tanto, é necessário obter estimativas de demanda energética que permitam escolher entre as práticas, operações ou máquinas disponíveis, aquelas que levam a uma maior eficiência.

Diferentes métodos podem ser utilizados para se obter estimativas da demanda energética das máquinas agrícolas para uma determinada operação. Mileusnic et al. (2010) sugeriram a determinação da chamada “taxa total de intensidade de energia do combustível”, que consiste em quantificar a quantidade total de energia demandada em uma atividade a partir da quantidade de combustível gasto em sua execução.

A taxa total de intensidade de energia do combustível, ou demanda total de energia, é, portanto, calculada pela multiplicação da quantidade de combustível consumido em uma dada operação ou conjunto de operações, pelo valor energético do combustível (MILEUSNIC et al., 2010), e corresponde

à energia total liberada a partir da queima do combustível durante a operação ou por unidade de área trabalhada.

Entretanto, é sabido que nem toda a energia térmica produzida na combustão é convertida em trabalho, muito menos está disponível para o uso nos meios de aproveitamento de potência do trator. Dessa forma, torna-se interessante obter uma estimativa da quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar implementos e máquinas agrícolas, a qual será uma fração da energia total liberada.

O valor resultante desta estimativa é denominado por Mileusnic et al. (2010) como “taxa de intensidade de energia” (MJ ha^{-1}). A taxa de intensidade de energia representa a razão entre a potência na barra de tração e a capacidade operacional. Nesse caso, a análise energética tem início com a determinação da potência requerida para a tração das máquinas e implementos, a qual vai depender do tipo de operação, características da máquina, do solo, profundidade de trabalho e velocidade operacional.

A razão entre a taxa total de intensidade de energia e a taxa de intensidade de energia, dá origem a um terceiro índice denominado eficiência de utilização do combustível (MILEUSNIC et al., 2010) ou eficiência energética global (RANJBARIAN et al., 2017), que indica qual porcentagem da energia total liberada a partir da queima do combustível no trator foi efetivamente transferida ao implemento.

Šarauskis et al., (2017) afirmaram que a tendência da agricultura atual é reduzir os custos das operações individuais e da produção total da cultura, o que requer a escolha dos melhores sistemas agrícolas. Os autores sugerem a utilização do consumo de combustível por hectare trabalhado como um indicador para comparação entre sistemas de cultivo, tais como o preparo convencional e plantio direto, por exemplo.

De acordo com Özgöz et al. (2017), entre as operações agrícolas o preparo do solo é considerada a mais cara e com maior requerimento energético, devendo-se levar em conta esse fator na escolha do sistema mais adequado. Neste sentido, Barut et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo no uso da energia e na rentabilidade da produção de milho para silagem e concluíram que os parâmetros de energia foram significativamente afetados pelos sistemas de preparo, sendo a maior eficiência

obtida no cultivo mínimo quando comparado ao preparo convencional, preparo em faixas e ao plantio direto.

Fathollahzadeh et al. (2010) destacaram que o consumo instantâneo de combustível, e conseqüentemente a demanda energética, em operações de preparo é influenciado por fatores como textura, taxa de compressão, presença de resíduos vegetais, densidade e teor de água do solo, os quais variam continuamente ao longo das áreas trabalhadas. Corroborando com estes autores, Namdari et al. (2011) avaliaram a influência do teor de água do solo no consumo de combustível para o preparo do solo realizado com um arado de aivecas, concluindo que o teor de água influenciou significativamente o consumo de combustível, sendo este superior para a condição de solo com menor teor.

Pesquisas voltadas para a estimativa do gasto energético na produção agrícola têm sido realizadas para diferentes culturas, entre as quais estão o tomate (ESENGUN et al., 2007), a soja (ALIMAGHAM, et al., 2017), o kiwi (MOHAMMADI et al., 2010) e a batata (ÖZGÖZ et al., 2017). A possibilidade de esgotamento de combustíveis fósseis, juntamente com fatores ambientais, foi um dos principais motivos que estimulou a realização desses estudos, que procuram apontar as fontes de desperdício e possíveis alternativas para redução do consumo.

Na mesma linha de trabalho, Allali et al. (2017) desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar o consumo energético na produção de cebolas na província de El Hajeb, Marrocos, concluindo que o consumo total de energia foi de 107483 MJ ha⁻¹, dos quais 7424 MJ ha⁻¹ corresponderam a energia proveniente da queima do combustível diesel utilizado nas operações.

Para Heidarisoltanabadi e Tahani (2016), a demanda energética e o custo da produção de cebolas são bastante elevados e, portanto a determinação de seus valores reais poderia fornecer uma nova perspectiva para que sejam implementadas formas de reduzi-los, assim como tem sido feito para outras culturas, já que a cebola está entre as hortaliças mais cultivadas no Brasil e no mundo.

No Brasil, a cebola é cultivada nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste, principalmente por pequenos e médios produtores contribuindo para a viabilização de pequenas propriedades e a fixação dos agricultores no campo (RESENDE et al., 2015).

A produção nordestina de cebola concentra-se nos estados de Pernambuco e Bahia, na região de Irecê e na Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento do Polo Petrolina - Juazeiro (CEPEA, 2018). Dados divulgados pelo IBGE para dezembro de 2017 apontaram que foram produzidas na região Nordeste 360.699 toneladas de cebola, aproximadamente 21% da produção total brasileira, provenientes de uma área colhida de 12.878 hectares (IBGE, 2018).

O cultivo da cebola é feito por diferentes métodos de implantação, sendo eles: semeadura direta, semeadura em sementeira com posterior transplântio, cultivo por bulbinhos, bulbos de soqueira e cultivo de mudas em bandejas (OLIVEIRA et al., 2015).

A implantação por meio da semeadura direta, em que a semeadura é realizada mecanicamente utilizando-se semeadoras convencionais e a vácuo, vem se difundindo no Vale do São Francisco, onde predominava até pouco tempo, o método de transplântio. Essa difusão é justificada principalmente pela dificuldade vivenciada pelos produtores em conseguir mão de obra para realizar a operação de transplântio e demais operações manuais, e ao seu elevado custo, o que torna a semeadura direta mais atrativa.

Na região do Vale do São Francisco o preparo do solo ideal para o cultivo da cebola é definido pelos produtores geralmente de forma empírica. Normalmente é feito por meio do sistema convencional e abrange, dependendo do produtor, operações de subsolagem, aração, e gradagem (em número variável), seguidas do levantamento de canteiros (geralmente duas mobilizações com enxada rotativa equipada com encanteirador), ou da formação de sulcos.

Assim, a grande quantidade de operações mecanizadas realizadas no preparo do solo gera um alto gasto energético, que associado ao alto custo representado pelos demais insumos utilizados durante o ciclo da cultura, eleva demasiadamente o custo total de produção. Torna-se necessário, então, estudar alternativas que possibilitem a redução da demanda energética e conseqüentemente dos custos da cebolicultura praticada na região, oferecendo aos produtores parâmetros que permitam orientar suas escolhas quanto ao sistema de implantação a ser adotado.

Uma alternativa apresentada por Šarauskiš et al. (2017) para a redução da demanda energética e dos custos na produção agrícola é a adoção de

sistemas reduzidos de preparo que diminuem o número de operações, o tempo de trabalho e conseqüentemente, o consumo de combustível.

Com base nas informações apresentadas, objetivou-se avaliar a demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função do sistema de preparo do solo com diferentes teores de água.

2. Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em área localizada no perímetro irrigado Tourão, no município de Juazeiro – Bahia, latitude 9°24'07.3"S; longitude 40°26'08.7"W, e altitude de 376 m, a qual foi disponibilizada pela empresa MM Frutas. Segundo a classificação de Köppen, o clima do local é o tropical semiárido, tipo BshW, caracterizado por escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e elevada evaporação em consequência das altas temperaturas (COELHO et al., 2012).

O experimento foi estabelecido em esquema de parcelas subdivididas, sendo os tratamentos: quatro teores de água do solo (12, 15, 23 e 26%), dispostos nas parcelas, e três sistemas de preparo do solo, dispostos nas subparcelas. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando-se 48 unidades experimentais.

Cada subparcela apresentava 3 m de largura e 20 m de comprimento, resultando em uma área de 60 m². As parcelas foram distanciadas entre si de 1 metro, formando uma área de bordadura entre os teores de água. Foram deixados 15 m de distância entre blocos para permitir a estabilização dos conjuntos mecanizados.

2.1. Caracterização da área experimental

A área utilizada no experimento estava em pousio há aproximadamente cinco anos, apresentando cobertura vegetal formada, principalmente, por gramíneas. Antes da instalação foi feita a limpeza da mesma por meio de uma operação de roçagem, com posterior enleiramento e queima do material vegetal.

Após a retirada da vegetação realizou-se uma operação de gradagem em toda a área, seguida de compactação superficial por meio do tráfego do trator em passadas sucessivas, objetivando-se nivelar e uniformizar a superfície do solo.

2.1.1. Características físicas do solo

Para a determinação das características físicas do solo, antes da realização das operações acima mencionadas foram feitas amostragens nas

faixas de 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade, em pontos escolhidos aleatoriamente.

As amostras compostas obtidas foram utilizadas para determinação da composição granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas e capacidade de campo, conforme metodologias descritas em Embrapa (2011). O solo foi classificado como Vertissolo Háplico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-argilosa (Tabela 1). A média dos valores de densidade do solo das faixas de profundidade amostradas foi de $1,26 \text{ g cm}^{-3}$. Já o teor médio de água na capacidade de campo foi de $19,96 \text{ dag kg}^{-1}$.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo

Profundidade (m)	Areia	Argila (kg kg^{-1})	Silte
0,00 – 0,10	0,464	0,361	0,175
0,10 – 0,20	0,458	0,373	0,169
0,20 – 0,30	0,454	0,371	0,175

2.1.2. Limites de consistência

Simultaneamente à coleta de amostras para as análises físicas, foram coletadas amostras compostas para realização de ensaios de consistência do solo, determinando-se os limites de liquidez e plasticidade e, o índice de plasticidade nas faixas 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Colegiado de Engenharia Civil da Universidade Federal do Vale do São Francisco, conforme metodologias descritas pela NBR 6459 (ABNT, 1984a) e NBR 7180 (ABNT, 1984b), obtendo-se os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites de consistência e índice de plasticidade do solo.

Profundidade (m)	Limite de plasticidade	Limite de Liquidez (%)	Índice de plasticidade
0,0-0,10	19	34	15
0,10-0,20	21	34	13
0,20-0,30	19	35	16

Os valores determinados demonstram que o solo da área experimental assume a consistência plástica, na faixa de 0,0 a 0,30 m de profundidade, a partir de um teor de água médio de 19,67%, e começa a se comportar como um líquido viscoso a partir de 34,33%. O valor médio do índice de plasticidade (14,67%) classifica esse solo como moderadamente plástico (RENEDO, 1996).

2.2. Tratamentos avaliados

2.2.1. Sistemas de preparo do solo

Foram avaliados três sistemas de preparo do solo, os quais diferiram entre si quanto ao número e tipo de operações realizadas, conforme mostrado na Tabela 3. Em todos eles as operações citadas foram seguidas pela semeadura da cultura.

Tabela 3. Sistemas de preparo avaliados durante o experimento

Sistemas de preparo	Operações mecanizadas que compõem cada sistema
P1	Uma aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento
P2	Duas gradagens + uma operação de encanteiramento
P3	Uma gradagem + uma operação de encanteiramento

As operações realizadas em cada sistema de preparo foram definidas tendo como referência a forma de preparo mais utilizada pelos produtores locais, que é constituída por uma operação de aração, duas operações de gradagem e uma ou duas operações com enxada rotativa equipada com encanteirador.

2.2.2. Teores iniciais de água do solo

Foram avaliados quatro teores volumétricos de água do solo (12, 15, 23 e 26%), definidos com base na estimativa do teor de água do solo na capacidade de campo e nos limites de plasticidade e liquidez do solo.

A variação do teor de água do solo foi obtida com a aplicação de lâminas de água sobre a sua superfície. Para tanto, um sistema de umedecimento foi

projetado e instalado na área, com o objetivo de distribuir as lâminas de acordo com o teor de água desejado para cada parcela.

O sistema de umedecimento era composto por um reservatório, a partir do qual a água era succionada utilizando-se um conjunto motobomba Branco[®], modelo BD-704 SPL, com potência do motor de 6,5 cv e vazão máxima de 78 m³ h⁻¹, e distribuída na área de interesse por meio de microaspersores.

A instalação foi feita para permitir o umedecimento de um bloco por vez. Em cada parcela eram dispostas duas mangueiras de irrigação, conectadas a tubulação secundária por meio de registros que permitiam fechar a passagem de água de maneira independente, quando o teor de água desejado era atingido. Cada mangueira foi equipada com quatro microaspersores, cuja vazão era de 70 L h⁻¹ e o alcance de 4 metros.

O monitoramento durante o processo de umedecimento foi feito utilizando-se o medidor eletrônico de umidade do solo HidroFarm (Figura 1), modelo HFM2130, marca Falker[®], que mede o percentual de umidade volumétrica do solo. As principais especificações técnicas do Hidrofarm são apresentadas na Tabela 4.



Figura 1. Monitoramento do teor de água do solo utilizando o medidor eletrônico HidroFarm, modelo HFM2130.

Tabela 4. Especificações técnicas do medidor eletrônico de umidade Hidrofarm.

Especificações	
Escala de medição	0 a 60%
Resolução da medição	0,1%
Precisão da medição	±3%
Duração de uma medição	Menos que 2 s
Volume de medição	Cilindro de aproximadamente 15 cm de raio e 20 cm de profundidade
Comprimento da área ativa	20 cm
Temperatura de operação	0 a 50 °C
Compensação de temperatura	Sim

Para possibilitar o cálculo da lâmina de água a ser aplicada, determinava-se o teor de água em um ponto na região central de cada subparcela, sendo efetuadas três leituras em cada ponto, conforme recomendação do fabricante para medições pontuais.

Posteriormente obtinha-se a média aritmética dos valores determinados em cada parcela, a qual era lançada em uma planilha eletrônica efetuando-se o cálculo da lâmina necessária para elevar o teor de água do solo ao valor desejado e o tempo necessário à aplicação da mesma, considerando-se uma profundidade de umedecimento de 0,30 m. Para facilitar a operação do sistema, todas as parcelas começavam a ser umedecidas simultaneamente, fechando-se os registros das parcelas com menor tempo de distribuição quando terminada a aplicação da lâmina.

Objetivando-se reduzir a deriva das gotas produzidas pelos microaspersores e otimizar a execução do experimento, o umedecimento era feito durante a noite, utilizando-se ainda da colocação de lonas nas laterais dos blocos para exercerem a função de “quebra vento”.

Decorrido algum tempo após a distribuição das lâminas, o teor de água era novamente mensurado, verificando-se a necessidade da realização de ajustes. Considerou-se o teor de água do solo como adequado, quando o valor médio para a parcela não diferia mais que 1% do teor estabelecido para a mesma. Somente após a obtenção dos níveis desejados é que foram iniciadas as operações de preparo.

2.3. Máquinas e implementos utilizados

2.3.1. Tratores

Foram utilizados um trator Valtra® (Figura 2), modelo BM 110, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 116 cv (85 kW) a 2300 rpm (trator instrumentado), equipado com super redutor; e um trator New Holland® (Figura 3), modelo TL75E, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 78 cv (57,37 kW) a 2400 rpm (trator lastro). As principais especificações técnicas destes tratores são descritas na Tabela 5.



Figura 2. Trator Valtra® modelo BM110 utilizado no experimento.



Figura 3. Trator New Holland[®] modelo TL75E utilizado no experimento.

Tabela 5. Especificações dos tratores utilizados no experimento

Especificações	BM110	TL75E
Potência do motor na rotação nominal	85 kW	57,37 kW
Potência da TDP na rotação nominal do motor	64,72 kW	-
Rotação de potência máxima	2300 rpm	2400 rpm
Torque máximo	430 N.m	280 N.m
Rotação de torque máximo	1400 rpm	1400 rpm
Número de cilindros do motor	4	4
Cilindrada	4400 cm ³	3908 cm ³
Aspiração	Turboalimentado	Natural
Peso do trator lastrado	6070 kg	3880 kg

FONTES: Valtra[®] e New Holland[®]

Durante o experimento o trator Valtra estava equipado com pneus Goodyear 14.9 - 24 R1 no eixo dianteiro e, 18.4 - 34 R1 no eixo traseiro, os quais estavam desprovidos de lastro líquido.

Para estabelecer as marchas utilizadas bem como as demais condições de operação do trator, foram realizados testes em condições de solo da área experimental com cada um dos implementos, garantindo que as velocidades de operação dos conjuntos estivessem de acordo com aquelas recomendadas

pelos respectivos fabricantes. As condições em que cada operação foi realizada são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Configurações do trator Valtra estabelecidas para cada operação

Operação	Rotação do motor (rpm)	Marcha	Uso do super redutor	Velocidade (km h ⁻¹)	TDA
Aração	1600	L3	Não	5,1	Sim
Gradagem	1600	L4	Não	6,9	Sim
Destorroamento/encanteiramento	1860	L4	Sim	0,74	Não
Semeadura	1860	L4	Sim	0,77	Não

2.3.2. Arado

Foi utilizado um arado fixo Tatu, marca Marchesan[®], modelo AF, com 3 discos de 26" x 4,75 mm e largura de corte teórica de 920 mm (Figura 4). O mesmo foi acoplado ao sistema de levante hidráulico de três pontos do trator e apresentava massa 408 kg.



Figura 4. Arado utilizado no experimento.

2.3.3. Grade

Utilizou-se uma grade aradora intermediária de dupla ação, off-set, marca KLR[®], modelo GAC245 1424, com 14 discos de 24" e largura teórica de

trabalho de 1750 mm (Figura 5). A mesma foi acoplada à barra de tração do trator e apresentava massa de 1254 kg.



Figura 5. Grade utilizada no experimento.

2.3.4. Enxada rotativa

Foi utilizada uma enxada rotativa equipada com encanteirador, marca Mec-Rul[®], modelo ERP 150, com 6 flanges e 36 lâminas no total, largura de corte teórica de 1,50 m, largura de canteiro de 1,25 m e massa de 464 kg (Figura 6), sendo a mesma acoplada ao trator por meio do sistema de levante hidráulico de três pontos.

Durante as operações, a enxada rotativa operou com a placa de impacto totalmente abaixada, de modo a elevar o destorroamento do solo.



Figura 6. Enxada rotativa com encanteirador utilizada no experimento.

2.3.5. Semeadora

Para realizar o plantio da cultura foi utilizada uma semeadora de precisão, pneumática, marca Jumil[®], modelo Natura air 2400, com 5 linhas e largura útil de 1300 mm (Figura 7), com massa de 650 kg, quando vazia.

As regulagens da máquina foram realizadas conforme orientações de técnicos com experiência na realização de plantio mecanizado de cebola na região e nas recomendações do fabricante. A semeadora estava equipada com discos próprios para semeadura de cebola em fileira dupla, sendo regulada para distribuir 20 sementes por metro linear, com profundidade de semeadura de 1,2 cm, espaçamento entre fileiras de 10 cm e entre linhas de 15 cm. A pressão negativa (vácuo) foi mantida em torno de 50 mbar.



Figura 7. Semeadora de precisão utilizada no experimento.

2.4. Instrumentação para a coleta de dados e parâmetros operacionais do trator

O trator Valtra[®] foi instrumentado com um conjunto de transdutores conectados a um sistema de aquisição de dados, marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8[®], gerenciado pelo software HBM Catman[®] 2.2, instalado em um computador embarcado no trator. O sistema de aquisição de dados foi ajustado para operar com uma taxa de aquisição de 25 Hz (25 dados por segundo). Os dados coletados foram armazenados no computador e posteriormente processados.

2.4.1. Velocidade do trator

A velocidade operacional foi monitorada utilizando-se um radar de velocidade Dickey-John[®], modelo RVS Radar III (Figura 8), com faixa de medição de velocidades de 0,53 a 96,6 km h⁻¹ e precisão de $\pm 5\%$, para a faixa de velocidades que engloba as utilizadas no experimento. Antes da realização do experimento o radar foi calibrado, resultando numa frequência de 94,84 Hz para cada 1 m s⁻¹.



Figura 8. Radar usado no monitoramento da velocidade do trator.

2.4.2. Consumo de combustível

Para monitorar o consumo de combustível o trator foi equipado com um medidor de fluxo volumétrico Flowmate Oval[®] M-III, modelo LSF41 (Figura 9). O fluxômetro foi instalado no sistema de alimentação do trator de modo a quantificar o consumo instantâneo de combustível com base na frequência de rotação das engrenagens que o constituem. A calibração do medidor resultou em um fluxo de $3,60 \text{ L h}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$.



Figura 9. Fluxômetro utilizado na determinação do consumo de combustível.

2.4.3. Força de tração

A força de tração exercida pelo trator em cada operação foi medida utilizando-se uma célula de carga Kratos[®], modelo CKS, com capacidade para 50 kN, sensibilidade de 2 mV/V e erro combinado de 0,03%.

A célula de carga foi conectada a barra de tração do trator por meio de um suporte (Figura 10). Este suporte foi desenvolvido com o objetivo de impedir a atuação de esforços de flexão e torção na célula de carga, garantindo a leitura apenas de forças de tração e compressão. Para tanto a barra de tração do trator trabalhou livre.



Figura 10. Célula de carga e suporte usados na instalação.

Para medir a força de tração requerida pelos implementos de arrasto, a célula de carga foi instalada entre trator e o ponto de acoplamento do implemento à barra de tração, fazendo a leitura da força de forma direta.

As forças necessárias para tracionar o arado e a semeadora foram medidas adotando-se o método do comboio, no qual foram utilizados os dois tratores anteriormente citados. O trator New Holland foi responsável por suportar os implementos, sendo tracionado pelo trator Valtra por meio de um cabo de aço conectado ao suporte da célula de carga (Figura 11). Especificamente para a operação de plantio o trator New Holland operou desengrenado, porém com a tomada de potência acionada em modo econômico a 540 rpm para movimentação da turbina da semeadora.



Figura 11. Determinação da força de tração requerida pelo método do comboio.

As forças requeridas pelo arado e pela semeadora foram determinadas subtraindo-se dos valores medidos o valor da força de tração necessária para tracionar apenas o trator que suportava os implementos, a qual foi determinada separadamente.

Para a aplicação dos tratamentos a enxada rotativa foi acoplada diretamente no trator instrumentado, uma vez que se optou por determinar com maior precisão o consumo de combustível em detrimento da força de tração. A força de tração requerida para tracionar a enxada rotativa foi determinada separadamente pelo método do comboio e considerada constante em todos os tratamentos utilizando-se um valor médio de 5,44 kN.

2.5. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente

2.5.1. Potência na barra de tração

A potência demandada na barra de tração foi obtida por meio da Equação 1, que relaciona a força demandada com a velocidade operacional.

$$P_{bt} = F_t V_{op} \quad (1)$$

em que,

P_{bt} = Potência na barra de tração (kW);

F_t = Força de tração (kN); e,

V_{op} = Velocidade operacional do trator ($m\ s^{-1}$).

2.5.2. Capacidade operacional

O cálculo da capacidade operacional foi feito por meio da Equação 2 e consistiu na relação entre a área trabalhada por cada conjunto (largura de trabalho teórica x comprimento da parcela) e o tempo gasto para a realização da operação.

$$C_o = \frac{A}{t} \quad (2)$$

em que,

C_o = capacidade operacional ($ha\ h^{-1}$);

A = área trabalhada pelo implemento (ha); e,

t = tempo gasto na execução da operação (h).

2.5.3. Tempo necessário à implantação da cultura

O tempo necessário à execução do conjunto de operações de cada sistema de preparo/semeadura por hectare de área implantada foi calculado como sendo o somatório do inverso da capacidade operacional obtida em cada uma das operações (Equação 3).

$$T_a = \sum \frac{1}{C_o} \quad (3)$$

em que,

T_a = tempo necessário à implantação de um hectare de cebola em cada combinação de tratamentos ($h\ ha^{-1}$); e,

C_o = capacidade operacional ($ha\ h^{-1}$).

2.5.4. Demanda energética das operações mecanizadas

2.5.4.1. Consumo de combustível por área trabalhada

O consumo de combustível por área trabalhada foi calculado conforme Equação 4.

$$C_a = \frac{C_h}{C_o} \quad (4)$$

em que,

C_a = consumo de combustível por área trabalhada ($L ha^{-1}$);

C_h = consumo horário de combustível ($L h^{-1}$); e,

C_o = capacidade operacional ($ha h^{-1}$).

2.5.4.2. Demanda total de energia do combustível

Consiste na quantidade total de energia demandada em uma operação e foi obtida a partir da relação entre o consumo de combustível expresso em litros por hectare e a quantidade de energia liberada pelo mesmo no processo de combustão, representada pelo poder calorífico. A demanda total de energia foi obtida por meio da Equação 5.

$$D_t = C_a D P_c \quad (5)$$

em que,

D_t = Demanda total de energia do combustível ($MJ ha^{-1}$);

D = Densidade do combustível ($kg L^{-1}$);

C_a = Consumo de combustível por área trabalhada ($L ha^{-1}$); e,

P_c = Poder calorífico inferior do combustível ($MJ kg^{-1}$).

Neste trabalho, quando necessário, foram utilizados os valores médios de poder calorífico inferior e densidade do Diesel, disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo para o ano de 2016 (ANP, 2017), sendo estes:

- Poder calorífico inferior: $10100 kcal kg^{-1}$ ($42,2594 MJ kg^{-1}$);

- Densidade: $0,8400 t m^{-3}$ ($0,8400 kg L^{-1}$).

2.5.4.3. Demanda específica de energia

A demanda específica de energia, também denominada taxa de intensidade de energia, corresponde a quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar uma máquina ou implemento, e é obtida por meio da relação entre a potência demandada na barra de tração e a capacidade operacional (Equação 6).

$$D_e = \frac{P_{bt}}{C_o} 3,6 \quad (6)$$

em que,

D_e = Demanda específica de energia (MJ ha^{-1});

P_{bt} = Potência na barra de tração (kW); e,

C_o = Capacidade operacional (ha h^{-1}).

2.5.4.4. Eficiência de utilização do combustível

A eficiência de utilização do combustível foi calculada por meio da Equação 7 conforme sugerido por Mileusnic et al. (2010).

$$E_c = \frac{D_e}{D_t} 100 \quad (7)$$

em que,

E_c = Eficiência de utilização do combustível (%);

D_e = Demanda específica de energia (MJ ha^{-1});

D_t = Demanda total de energia do combustível (MJ ha^{-1}).

2.5.4.5. Demanda energética nos tratamentos avaliados

O consumo de combustível por área trabalhada, a demanda total e a demanda específica de energia, requeridos por cada combinação de tratamentos empregada na implantação da cultura da cebola, foram obtidos somando-se os valores desses parâmetros, de acordo com a sequência de operações e condições de teor de água correspondentes.

A eficiência de utilização do combustível foi determinada como sendo a razão entre a demanda total de energia e a demanda específica de cada combinação de sistema de preparo do solo e teor de água.

2.6. Análise estatística

Os dados obtidos para os parâmetros consumo de combustível por área trabalhada, demanda total de energia, demanda específica de energia e eficiência de utilização do combustível, foram submetidos à análise de variância e de regressão.

Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo aplicou-se a análise de regressão sendo os modelos selecionados com base no comportamento do fenômeno, no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Para a força de tração, potência demandada e consumo horário de combustível, e para os valores dos parâmetros de demanda energética obtidos individualmente em cada operação realizada utilizou-se estatística descritiva.

Todos os procedimentos estatísticos foram feitos utilizando o programa computacional R (R CORE TEAM, 2017).

3. Resultados e discussão

A interação entre os teores de água e os sistemas de preparo do solo não influenciou significativamente o consumo de combustível por área trabalhada. Quando analisado o efeito simples de cada um dos fatores, observou-se que apenas os sistemas de preparo o afetaram significativamente, o mesmo ocorrendo para o tempo gasto na realização das operações que compuseram cada sistema.

O consumo mais elevado ocorreu no sistema de preparo P1 (Tabela 7), o que pode ser explicado pelo maior número de operações efetuadas no mesmo.

Tabela 7. Consumo de combustível por área trabalhada (C_a), tempo necessário para realização das operações (T_s) e demanda total de energia (D_t) em função do sistema de preparo do solo

Sistemas de preparo	C_a (L ha ⁻¹)	T_a (h ha ⁻¹)	D_t (MJ ha ⁻¹)
P1	443,02 a	34,71 a	15726,39 a
P2	330,91 b	22,74 b	11746,54 b
P3	329,69 b	21,74 c	11703,33 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, Kumar et al. (2013) compararam o efeito de cinco métodos de preparo e semeadura sobre a eficiência energética e produtividade do trigo na Índia, sendo eles: preparo convencional, preparo reduzido, preparo rotativo, preparo convencional com levantamento de canteiros e plantio direto. Os autores obtiveram maior consumo de combustível por área trabalhada no preparo convencional com levantamento de canteiros, composto por duas gradagens, três operações de revolvimento com cultivador e uma operação de nivelamento, seguidas do levantamento dos canteiros e da semeadura. Valores significativamente inferiores foram obtidos para os demais métodos, evidenciando que a utilização de um menor número de operações de preparo do solo permite reduzir a quantidade de combustível necessária para o cultivo de uma determinada área.

Estes mesmos autores destacaram ainda que o método de preparo e semeadura que teve o maior consumo por área trabalhada foi também o que necessitou de maior tempo para execução, ao contrário do observado para o

plantio direto que apresentou os menores valores de ambos os parâmetros, devido ao menor número de operações.

Comportamento semelhante foi observado neste trabalho, uma vez que o sistema P1 também requisitou maior tempo operacional (Tabela 7), enquanto o P3, com menor número de operações, requereu menos combustível e menor tempo, proporcionando uma economia de 25,6% e 37,4%, respectivamente, na implantação de um hectare de cebola.

Barut et al. (2011) quando compararam cinco sistemas de preparo com diferentes números e tipos de operações observaram que estes afetaram significativamente o consumo de combustível, o qual foi mais elevado no sistema que proporcionou um tráfego mais intensivo de máquinas.

As médias obtidas para a demanda total de energia também diferiram significativamente apenas entre os sistemas de preparo (Tabela 7) e foram superiores para o preparo P1, conforme esperado, uma vez que este índice é dependente do consumo de combustível por hectare trabalhado. A demanda total de energia do sistema P1 superou em 25,31% o P2 e, em 25,58% o P3.

Brandão et al. (2013) avaliaram o desempenho operacional de conjuntos mecanizados utilizados no cultivo de crambe em dois manejos do solo: preparo convencional com duas operações de gradagens intermediárias e duas gradagens leves; e preparo reduzido que consistiu na dessecação da cultura anterior e posterior subsolagem. O consumo de combustível por área trabalhada e, conseqüentemente a demanda total de energia, foi superior no preparo convencional, o que também foi atribuído pelos autores ao maior número de operações.

Em trabalho conduzido por Heidarisoltbadi e Tahani (2016), foi pesquisado o consumo de energia no cultivo da cebola por semeadura direta e por transplante de mudas no Irã, determinando-se entre outras fontes, o consumo de energia equivalente ao uso de combustível, cujo valor foi de 10038 MJ ha⁻¹. Segundo estes autores, a maior parte deste gasto energético estava associada ao preparo do solo para plantio, o que demonstra a necessidade de se quantificar essas demandas para que o produtor possa optar por sistemas que apresentem menor custo.

A demanda específica de energia, por sua vez, foi afetada significativamente pela interação entre os teores de água e sistemas de preparo do solo a um nível de 0,1% de probabilidade. As médias de demanda

energética obtidas nos preparos dentro de cada nível de umidade são apresentadas na Tabela 8. Observa-se que esse parâmetro diferiu entre os sistemas de preparo em todos os teores de água, com os maiores valores sendo determinados para o sistema P1, seguido pelo P2 e P3.

Tabela 8. Valores médios da demanda específica (MJ ha^{-1}) de energia nos diferentes preparos e teores de água avaliados

Sistemas de preparo	Teor de água no solo (%)			
	12	15	23	26
P1	308,26 a	308,18 a	356,50 a	344,38 a
P2	195,84 b	194,30 b	205,70 b	206,39 b
P3	127,50 c	130,78 c	135,22 c	136,74 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esse comportamento está de acordo com o observado para os parâmetros consumo de combustível por área trabalhada e demanda total de energia, que também tiveram valores superiores para o sistema P1. O maior valor de demanda específica de energia determinado para o P1 indica que este foi o que apresentou maior demanda de potência do trator, uma vez que essa demanda é calculada como sendo a razão entre a potência demandada e a capacidade de campo.

Isso ocorreu devido ao P1 ser o único sistema em que foi feita a aração, além de ter uma gradagem e uma operação de encanteiramento a mais que o P3. As operações de aração e gradagem foram as que demandaram maior potência na barra de tração conforme pode ser observado nas Tabelas 1A e 2A do Apêndice A.

Mileusnic et al. (2010) compararam os parâmetros de demanda energética para quatro tratores diferentes e três sistemas de preparo do solo: preparo convencional (aração + duas operações de preparo secundário + semeadura), preparo conservacionista (solo coberto com resíduos vegetais, duas operações de preparo com grades ou cultivadores + semeadura) e plantio direto. Para todos os tratores foram obtidas demandas específicas de energia maiores no sistema de preparo convencional, mostrando, portanto, que o consumo de energia pode ser reduzido aplicando-se sistemas mais conservacionistas.

A variação da demanda específica de energia em função do teor de água do solo em cada sistema de preparo foi avaliada por meio de análise de regressão, obtendo-se resultados significativos somente para o sistema P1. Nesse sistema o teor de água apresentou efeito linear nos valores de demanda (Tabela 9), observando-se que o incremento de 1% no teor de água do solo eleva a demanda energética em 3,43 MJ ha⁻¹.

Para os sistemas P2 e P3 não se verificou efeito do teor de água sobre a demanda específica de energia, sendo seu comportamento descrito pela média dos valores obtidos (Tabela 9).

Tabela 9. Modelos ajustados para descrever o comportamento da demanda específica de energia (D_e) em função do teor de água do solo (θ) em cada sistema de preparo avaliado

Sistemas de preparo	Modelos de regressão	r^2
P1	$D_e = 264,1387 + 3,4312^{**} \theta$	0,82
P2	$D_e = 200,5555$	-
P3	$D_e = 132,5603$	-

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; θ em %; D_e em MJ ha⁻¹

A ocorrência de efeito significativo apenas no sistema P1 pode estar relacionada à demanda energética da operação de aração, executada somente nesse sistema. A variação obtida na demanda específica de energia entre os teores de água para a aração pode ter influenciado na obtenção de uma relação linear significativa quando analisados os valores totais desse parâmetro, uma vez que as médias determinadas nas demais operações em todos os sistemas são numericamente próximas, conforme pode ser observado na Tabela 6-A (Apêndice A).

Nkakini e Vurasi (2015) determinaram o efeito da variação do teor de água do solo sobre a força de tração requerida e a demanda energética de um conjunto mecanizado formado por trator e arado de discos. Os resultados mostraram que tanto a força de tração quanto a demanda específica de energia decresceram com o aumento do teor de água do solo, contrariando o que foi observado neste trabalho quando avaliado o conjunto de operações para o sistema P1, em que ocorreu aumento da demanda com o aumento do teor de água.

Os valores da eficiência de utilização do combustível, que indicam quanto da energia liberada pela queima do combustível foi efetivamente utilizada para produzir tração, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios da eficiência de utilização do combustível (%) e seus respectivos desvios padrões para as operações mecanizadas realizadas em cada combinação de tratamentos

Trat.		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	8,83 ± 1,07	16,08 ± 1,00	15,45 ± 2,70	1,26 ± 0,17	1,27 ± 0,33	0,24 ± 0,05
	P2	-	17,16 ± 2,49	14,00 ± 1,12	1,27 ± 0,44	-	0,23 ± 0,03
	P3	-	17,07 ± 3,33	-	1,06 ± 0,32	-	0,24 ± 0,04
15	P1	9,91 ± 1,23	15,02 ± 4,00	13,59 ± 2,38	1,33 ± 0,12	1,22 ± 0,27	0,24 ± 0,04
	P2	-	15,29 ± 2,68	13,24 ± 1,86	1,25 ± 0,09	-	0,27 ± 0,01
	P3	-	16,87 ± 2,68	-	1,21 ± 0,25	-	0,24 ± 0,02
23	P1	11,64 ± 0,97	16,54 ± 3,17	14,99 ± 2,27	1,11 ± 0,13	1,32 ± 0,28	0,28 ± 0,03
	P2	-	18,34 ± 4,18	12,99 ± 4,54	1,25 ± 0,16	-	0,30 ± 0,05
	P3	-	19,03 ± 3,22	-	1,30 ± 0,26	-	0,29 ± 0,05
26	P1	10,85 ± 0,33	17,79 ± 0,83	14,44 ± 1,16	1,13 ± 0,08	1,18 ± 0,29	0,28 ± 0,02
	P2	-	19,45 ± 5,72	13,72 ± 2,22	1,18 ± 0,19	-	0,29 ± 0,03
	P3	-	18,02 ± 1,83	-	1,08 ± 0,14	-	0,28 ± 0,04

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Os valores de eficiência obtidos para as operações de aração e gradagem encontram-se, em sua maioria, entre 10 e 20%, intervalo considerado normal de acordo com Ranjabarian et al. (2017) apud Crowell e Bowers (1985). Segundo estes autores valores inferiores a 10% indicam que o conjunto trator-implemento está mal dimensionado, com baixa carga ou baixa eficiência de tração; enquanto valores superiores a 20% indicam uma boa combinação entre o trator e a carga, ou alta eficiência de tração. Assim, as eficiências obtidas para a primeira operação de gradagem, por exemplo, demonstram que o conjunto operacional escolhido estava adequado a esta operação, ocorrendo menor perda energética.

As operações de encanteiramento e semeadura apresentaram valores baixos de eficiência de utilização de combustível (Tabela 10), os quais são explicados pelo fato de que a potência demandada na barra de tração utilizada para o cálculo da demanda específica de energia, também apresentou valores

baixos (Tabela 2-A, Apêndice A). No caso desses implementos, principalmente para a enxada rotativa, parte da energia liberada pelo combustível é direcionada ao funcionamento da tomada de potência, utilizada no acionamento de mecanismos dos mesmos, demanda esta, que não foi quantificada no presente trabalho.

Quando determinada para as combinações entre os tratamentos, a eficiência de utilização do combustível apresentou variação significativa estatisticamente apenas em função dos sistemas de preparo de solo. O sistema de preparo P1 apresentou maior valor de eficiência, superando o P2, que por sua vez foi superior ao P3 (Tabela 11).

Tabela 11. Eficiência de utilização do combustível (E_c) para os diferentes sistemas de preparo

Sistemas de preparo	E_c (%)
P1	2,11 a
P2	1,71 b
P3	1,14 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Isto está associado justamente associado às operações de aração e gradagem que compuseram o sistema P1, as quais apresentaram maior eficiência (Tabela 10) devido a maior demanda de potência na barra de tração (Tabela 2-A), o que fez com que a fração da energia liberada pelo combustível e utilizada efetivamente na tração dos implementos fosse superior.

O fato de ter apresentado maior eficiência de utilização de combustível não torna o sistema P1 necessariamente o mais adequado à implantação da cultura da cebola, uma vez que ele apresentou maior consumo de diesel por área trabalhada e maior demanda total de energia, quando comparado aos sistemas P2 e P3 (Tabela 7).

4. Conclusões

Os sistemas de preparo afetam significativamente a demanda energética das operações mecanizadas necessárias ao cultivo da cebola.

O sistema composto por uma operação de aração, duas gradagens, duas operações de encanteiramento (P1) e semeadura apresentou maior valor de demanda energética para todos os índices determinados.

Os teores de água do solo afetaram somente a demanda específica de energia, e para o sistema P1 quanto maior o teor de água, maior a demanda energética.

O sistema P3, composto por uma gradagem, uma operação de encanteiramento e semeadura, demonstrou ser o mais adequado à implantação da cultura da cebola por apresentar menor gasto energético.

5. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017> > Acesso em: 04 fev. 2018.

ALIMAGHAM, S. M.; SOLTANI, A.; ZEINALI, E.; KAZEMI, H. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 621-628, 2017.

ALLALI, K.; DHEHIBI, B.; KASSAM, S. N.; AW-HASSAN, A. Energy Consumption in Onion and Potato Production within the Province of El Hajeb (Morocco): Towards Energy Use Efficiency in Commercialized Vegetable Production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 1, p. 118, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984b.

BARUT, Z. B.; ERTEKIN, C.; KARAAGAC, H. A. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. **Energy**, v. 36, n. 9, p. 5466-5475, 2011.

BRANDÃO, F. J. B.; DA SILVA, A. R. B.; ANTONIO, M.; DA SILVA, P.; SPEROTTO, F. C. S.; DE MESQUITA FILHO, E. J. Desempenho operacional e produtividade agrícola do crambe nos preparos convencional e reduzido de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, p. 3746-3756, 2013.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA Anuário 2017-2018. **Hortifruti Brasil**, dezembro 2017/janeiro 2018. Disponível

em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2.aspx>> Acesso em: 04 fev. 2018.

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n.3, p.755-763, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 225 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

ESENGUN, K.; ERDAL, G.; GÜNDÜZ, O.; ERDAL, H. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. **Renewable Energy**, v. 32, n. 11, p. 1873-1881, 2007.

FATHOLLAHZADEH, H.; MOBILI, H.; RAJABIPOUR, A.; MINAEI, S.; JAFARI, A.; TABATABAIE, S. M. H. Average and instantaneous fuel consumption of Iranian conventional tractor with moldboard plow in tillage. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 5, n. 2, p. 30, 2010.

HAMZEI, J.; SEYYEDI, M. Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 157, p. 73-82, 2016.

HEIDARISOLTANABADIA M.; TAHANI, B. An Investigation into Energy Consumption for Onion Cropping. **ISESCO Journal of Science and Technology**, v. 12, n. 21, p. 50-56, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da produção agrícola**. SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação

Automática). Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#notas-tabela> > Acesso em: 04 fev. 2018.

KUMAR, V.; SAHARAWAT, Y. S.; GATHALA, M. K.; JAT, A. S.; SINGH, S. K.; CHAUDHARY, N.; JAT, M. L. Effect of different tillage and seeding methods on energy use efficiency and productivity of wheat in the Indo-Gangetic Plains. **Field Crops Research**, v. 142, p. 1-8, 2013.

MILEUSNIC, Z. I.; PETROVIC, D. V.; DEVIC, M.S. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. **Energy**, v. 35, n. 1, p. 221-228, 2010.

MOHAMMADI, A.; RAFIEE, S.; MOHTASEBI, S. S.; RAFIEE, H. Energy inputs–yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. **Renewable energy**, v. 35, n. 5, p. 1071-1075, 2010.

NAMDARI, M.; RAFIEE, S.; JAFARI, A. CO₂ emission as a result of the fuel consumption and tillage quality in different tillage conditions. **International journal of environmental sciences**, v. 1, n. 7, p. 1659, 2011.

NKAKINI, S. O.; VURASI, N. M. Effects of moisture content, bulk density and tractor forward speeds on energy requirement of disc plough. **Technology**, v. 6, n. 7, p. 69-79, 2015.

OLIVEIRA, V. R.; MADEIRA, N. R.; RESENDE, F. V. SOUZA, R. B.; MAROUELLI, W. A. Sistema de produção da cebola. In: **Cultura da cebola: tecnologia de produção e comercialização**. Lavras: Editora UFLA, 2015. Cap. 6, p. 185 - 203.

ÖZGÖZ, E.; ALTUNTAŞ, E.; ASILTÜRK, M. Effects of soil tillage on energy use in potato farming in Central Anatolia of Turkey. **Energy**, v. 141, p. 1517-1523, 2017.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RANJBARIAN, S.; ASKARI, M.; JANNATKHAH, J. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 2, p. 154-162, 2017.

RENEDO, V. S. G. Dinámica y mecánica de suelos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, S. L. 1996. 426 p.

RESENDE, G. M. de; ASSIS, R. P. de; SOUZA, R. J. de; ARAÚJO, J. C. de. Importância econômica. In: **Cultura da cebola: tecnologia de produção e comercialização**. Lavras: Editora UFLA, 2015. Cap. 1, p. 19-29.

SAAD, A. A.; DAS, T. K.; RANA, D. S.; SHARMA, A. R.; BHATTACHARYYA, R.; LAL, K. Energy auditing of a maize–wheat–greengram cropping system under conventional and conservation agriculture in irrigated north-western Indo-Gangetic Plains. **Energy**, v. 116, p. 293-305, 2016.

SAFA, M.; SAMARASINGHE, S. Modelling fuel consumption in wheat production using artificial neural networks. **Energy**, v. 49, p. 337-343, 2013.

ŠARAUSKIS, E.; VAITAUSKIENĖ, K.; ROMANECKAS, K.; JASINSKAS, A.; BUTKUS, V.; KRIAUČIŪNIENĖ, Z. Fuel consumption and CO₂ emission analysis in different strip tillage scenarios. **Energy**, v. 118, p. 957-968, 2017.

CAPÍTULO II

Produtividade da cebola em função do sistema de preparo do solo em diferentes teores de água

Produtividade da cebola em função do sistema de preparo do solo em diferentes teores de água

Resumo: Preparar o solo para o plantio de uma cultura agrícola consiste em torná-lo capaz de fornecer condições ótimas para a germinação das sementes, emergência e desenvolvimento das plantas, permitindo alcançar alta produtividade e qualidade dos produtos. Entretanto, a realização de um número excessivo de operações de preparo em condições inadequadas, pode elevar o custo de produção e ocasionar a degradação do solo, sem que sejam obtidas respostas positivas da cultura. A cebola é uma hortaliça de grande importância econômica, mas que apresenta um custo de produção elevado, e cuja produtividade é extremamente influenciada pelas condições de cultivo. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar a resposta da cultura da cebola em função de teores de água e sistemas de preparo do solo. Foram avaliados três sistemas de preparo: P1 (aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento + semeadura), P2 (duas gradagens + encanteiramento + semeadura), P3 (uma gradagem + encanteiramento + semeadura); e quatro teores de água do solo: 12, 15, 23 e 26%. O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Nas parcelas foram dispostos os teores de água e nas subparcelas, os sistemas de preparo. A resposta da cultura aos tratamentos aplicados foi avaliada por meio da determinação do índice de velocidade de emergência das plântulas, da regularidade da distribuição longitudinal das plantas, do estande final, da produtividade total e comercial da cultura e da produtividade por classe de diâmetro transversal dos bulbos de cebola. A variação do teor de água no solo apresentou efeito quadrático sobre os parâmetros velocidade de emergência, estande final e produtividade total de cebola. O índice de velocidade de emergência foi maior para o sistema de preparo P1, enquanto os parâmetros estande final e produtividade total não foram influenciados significativamente pelos sistemas de preparo. Os tratamentos estudados e a interação entre os mesmos não afetaram significativamente a distribuição longitudinal das plantas e a produtividade comercial. Quanto a produtividade por classes, apenas a classe 0 e a 3 cheio sofreram influência significativa dos sistemas de preparo. A variação do teor de água do solo não interferiu significativamente na produção de bulbos das

diferentes classes. O sistema de preparo composto por uma gradagem e uma operação de encanteiramento (P3) mostrou-se o mais adequado ao cultivo de cebola por semeadura direta.

Palavras-chave: cebolicultura, produtividade, semeadura direta

Onion yield due to soil tillage in different water contents

Abstract: Tillage the soil for the planting agricultural crop consists of making it capable of providing optimal conditions for seed germination, emergence and development of plants, allowing you to reach high yield and product quality. However, the carrying out of an excessive number of tillage operations under inadequate conditions, can raise the cost of production and lead to soil degradation, without positive feedback from the crop. The onion is a vegetable of great economic importance, but which has a high cost of production, and whose yield is greatly influenced by cultivation conditions. The objective of this work was to evaluate the onion culture response as a function of water content and soil tillage systems. Three tillage systems were evaluated: P1 (plowing + two harrowing + two operations of build seedbeds + seeding), P2 (two harrowing + one operation of build seedbeds + seeding), P3 (one harrowing + one operation of build seedbeds + seeding); and four soil water contents: 12, 15, 23 and 26%. The experiment was installed in a split - plot scheme, in a randomized complete block design, with four replications. In the plots were arranged the water contents and in the subplots, the tillage systems. The crop response to the applied treatments was evaluated through the determination of the emergence speed index of the seedlings, of the regularity of the longitudinal distribution of plants, of the final stand, the total and commercial yield of the crop and yield per cross-sectional diameter class of onion bulbs. The variation of soil water content presented a quadratic effect on the parameters emergency speed, final stand and total onion yield. The emergence speed index was higher for the tillage system P1, while the parameters final stand and total yield were not significantly influenced by the tillage systems. The treatments studied and the interaction between them did not affect significantly the longitudinal distribution of plants and commercial yield. As for class yield, only class 0 and 3 full were significantly influenced by the tillage systems. The variation of soil water content did not significantly interfere in the production of bulbs of the different classes. The tillage system composed of one harrowing and one operation build seedbeds (P3) showed to be the most appropriate for onion cultivation by direct seeding.

Keywords: onion cultivation, yield, direct seeding

1. Introdução

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma planta herbácea pertencente à família *Alliaceae* cultivada comercialmente e destinada tanto ao consumo *in natura* quanto ao processamento. No Brasil é a terceira cultura hortícola em termos de importância econômica, sendo superada apenas pela batata e pelo tomate.

A cultura da cebola pode ser estabelecida utilizando-se os métodos de semeadura direta, plantio direto, cultivo de bulbinhos e transplantio de mudas, sendo este último o mais difundido no país. Cada método possui especificidades que interferem no desenvolvimento da planta e em sua produtividade, entre as quais está a forma como o solo é preparado para o plantio.

O preparo do solo consiste na realização de operações que têm como objetivo propiciar condições favoráveis à semeadura, germinação, desenvolvimento e produção de plantas. O preparo do solo pode interferir em características que determinam a qualidade comercial da cebola, tais como o formato, o tamanho e a sanidade dos bulbos, uma vez que estes se desenvolvem parcialmente sob a superfície do solo.

Costa et al. (2007) afirmaram que solos para cultivo de cebola devem ser livres de impedimentos físicos, tais como camadas compactadas, adensadas e encrostamentos, além de possuírem boa drenagem, de modo a favorecer o desenvolvimento das raízes e bulbos. De acordo com estes autores, quando o plantio é feito por semeadura direta, o posicionamento das sementes e seu contato com a água e nutrientes são favorecidos pelo maior destorroamento do solo, propiciando melhores condições de germinação.

No entanto, a quebra excessiva dos agregados do solo pode gerar partículas muito finas deixando-o sujeito à formação de crostas superficiais por ocasião de chuvas ou irrigação. Esse encrostamento dificulta a emergência das plantas e conseqüentemente a obtenção de estandes adequados, reduzindo o rendimento da cultura. Além disso, a utilização excessiva de operações de revolvimento e desagregação do solo pode levar a ocorrência de outros problemas associados à degradação física, tais como a erosão da camada arável e a compactação subsuperficial, que limitam não só o desenvolvimento da cebola, como também de outras culturas.

Uma alternativa a isso é a utilização de sistemas de preparo reduzido, os quais se baseiam na redução do número de operações de mobilização. Porém, ainda existem dúvidas quanto à produtividade, qualidade dos bulbos, tempo de cultivo e custo de produção esperados com sua utilização (FACTOR et al., 2012). Rós et al. (2014) afirmaram que o principal argumento contra o uso de sistemas de manejo conservacionista para o cultivo de hortaliças é que culturas cuja parte de interesse comercial produzida se desenvolve total ou parcialmente abaixo da superfície do solo, são sensíveis a compactação, aeração inadequada ou má drenagem, o que pode resultar em baixo rendimento.

Contrao esse argumento, Factor et al. (2012) avaliaram o desempenho produtivo da cebola por meio dos parâmetros massa média dos bulbos, produtividade total e produtividade por classe, cultivada nos sistemas de plantio direto e preparo convencional do solo, concluindo que tais parâmetros não diferiram entre os sistemas.

De acordo com Marouelli et al. (2005) um dos maiores desafios da semeadura direta de cebola é a obtenção de uma adequada germinação das sementes e emergência das plântulas, que necessitam de boa disponibilidade de água no solo. Segundo os autores a germinação das sementes decresce com a redução do teor de água do solo a partir da capacidade de campo, e a semeadura em solo seco seguida de irrigação ocasiona na maioria das vezes problemas com o estande e crescimento desigual das plantas. Por conta disso, recomendaram que independentemente do método de plantio escolhido, o solo deve ser previamente irrigado elevando-se o teor de água para o intervalo entre 80 e 100% da capacidade de campo, na camada de até 0,30 m de profundidade.

Corroborando com estes autores, Oliveira et al. (2015) afirmaram que os estresses a que a cultura da cebola está sujeita no sistema de semeadura direta podem ocasionar desuniformidade na emergência e redução do estande de plantas. Já Nascimento et al. (2011) concluíram que as condições ambientais por ocasião da semeadura são decisivas para que se obtenha sucesso no cultivo de hortaliças semeadas diretamente em campo, sendo determinante não apenas na produtividade, como também na qualidade final do produto.

A precisão na distribuição das sementes é apontada por Rocha et al. (1991) como um fator determinante na obtenção de bons resultados no cultivo de cebola, já que o espaçamento entre plantas influencia o tamanho dos bulbos e, conseqüentemente, seu valor comercial.

Entretanto, é preciso levar em conta a capacidade de arranjo espacial que os bulbos de cebola têm quando cultivados em alta densidade na linha de plantio, pois, conforme ressaltaram Oliveira et al. (2015), é comum serem dispostas de 20 a 30 sementes de cebola por metro linear, observando-se uma tendência de aumento desse número. O uso de cultivares híbridas reforça essa tendência, uma vez que as mesmas são adequadas a plantios de alta densidade, apresentando boa uniformidade de bulbificação, maior produtividade e resistência a algumas das principais doenças da cebola.

Um dos grandes problemas no cultivo da cebola é que a maior parte dos produtores conduz a cultura de forma empírica (HENRIQUES, 2013). Na região do Vale do São Francisco, mais especificamente nas cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, essa situação é observada principalmente entre pequenos e médios cebolicultores, cujos cultivos são pouco tecnificados, trazendo por vezes grandes prejuízos. Observa-se ainda a carência de trabalhos de cunho científico que comprovem ou refutem a eficiência dos métodos comumente usados pelos produtores, de modo a contribuir para a consolidação da cadeia produtiva da cebola nesta região.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a resposta da cultura da cebola em função de teor inicial de água e do sistema de preparo do solo.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área localizada no perímetro irrigado Tourão, no município de Juazeiro – Bahia, latitude 9°24'07.3"S; longitude 40°26'08.7"W, e altitude de 376 m, a qual foi disponibilizada pela empresa MM Frutas. O clima do local é o tropical semiárido, tipo BshW, caracterizado por escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e elevada evaporação em consequência das altas temperaturas (COELHO et al., 2012).

Para a instalação do experimento em campo utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, sendo os tratamentos quatro teores de água do solo, dispostos nas parcelas, e três sistemas de preparo, dispostos nas subparcelas. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando-se 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi composta por um canteiro (Figura 1) com largura de topo de 1,25 m e 20 m de comprimento, localizado no centro da subparcela, a qual apresentava 3 m de largura. As parcelas foram distanciadas entre si de 1 metro, formando assim uma área de bordadura entre os teores de água. Já entre blocos foram deixados 15 metros para área de manobras e estabilização dos conjuntos mecanizados.



Figura 1. Parte da área experimental após o plantio da cultura.

2.1. Caracterização da área experimental

2.1.1. Características físicas

Para determinação das características físicas do solo foram realizadas amostragens nas faixas de 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade, em pontos escolhidos aleatoriamente na área.

As amostras compostas foram utilizadas para determinação da composição granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas e capacidade de campo, conforme metodologias descritas por Embrapa (2011). O solo foi classificado como Vertissolo Háplico (Embrapa, 2006) de textura franco-argilosa (Tabela 1). A média dos valores de densidade do solo das faixas de profundidade amostradas foi de $1,26 \text{ g cm}^{-3}$. Já o teor médio de água na capacidade de campo foi de $19,96 \text{ dag kg}^{-1}$.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo

Profundidade (m)	Areia	Argila (kg kg^{-1})	Silte
0,00 – 0,10	0,464	0,361	0,175
0,10 – 0,20	0,458	0,373	0,169
0,20 – 0,30	0,454	0,371	0,175

2.1.2. Análise química

Com o intuito de conhecer as características químicas do solo e possibilitar a recomendação de adubação para a cultura da cebola, uma amostra composta coletada na faixa de 0,0 a 0,20 m de profundidade, foi encaminhada ao Laboratório de Análises de Solo e Planta – LASP. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.

De acordo com as faixas gerais de adequabilidade descritas por CEFS (1989), o solo da área experimental apresentava alcalinidade média (pH), acidez potencial baixa ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$) e alta quantidade de matéria orgânica. Os teores de cálcio e magnésio também foram descritos como altos.

A análise química do solo indicou não ser necessária a realização de calagem, uma vez que são recomendados para a cultura da cebola solos com

saturação por bases (V) de no mínimo 80% e baixa acidez (pH próximo a 6,0) (TRANI et al., 2014).

Tabela 2. Características químicas do solo na faixa de 0,0 a 0,20 m de profundidade

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{2+}	S (bases)	H + Al	T	Al^{3+}	V
								cmol _c dm ⁻³
0,57	25,7	3,6	0,28	30,15	0,00	30,15	0,00	100
Micronutrientes (mg dm⁻³)				C.E./25°C	Mat. Org.	C	pH	P
Cu	Fe	Mn	Zn	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	(H ₂ O)	mg dm ⁻³
7,1	42,8	7,6	6,9	0,54	11,1	6,4	7,7	26

Extratores: * P, K e Na → Mehlich (HCl + H₂SO₄) * Ca, Mg e Al → KCl 1M

O valor da condutividade elétrica do solo (C.E./25°C) o enquadra como adequado ao cultivo de cebola, uma vez que está abaixo do limite de 1,0 dS/m, a partir do qual há redução da produtividade (CEFS, 1989).

2.2. Tratamentos avaliados

2.2.1. Sistemas de preparo do solo

Foram avaliados três sistemas de preparo, os quais diferiram quanto ao número e tipo de operações realizadas, conforme mostrado na Tabela 3. Em todos os casos as operações citadas foram seguidas pela semeadura da cultura.

Tabela 3. Sistemas de preparo avaliados durante o experimento

Preparo	Operações mecanizadas que compõem cada sistema
P1	Uma aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento
P2	Duas gradagens + uma operação de encanteiramento
P3	Uma gradagem + uma operação de encanteiramento

A forma de preparo mais utilizada pelos produtores do Vale do São Francisco, constituída por uma aração, duas gradagens e uma ou duas

operações de encanteiramento, foi considerada como referência para a definição dos sistemas de preparo estudados, tendo como hipótese que um menor número de operações de revolvimento do solo poderia fornecer resultados semelhantes aos até então alcançados, em termos de desenvolvimento da cultura.

2.2.2. Teores de água do solo

Foram avaliados quatro teores volumétricos de água do solo (12, 15, 23 e 26%), os quais foram alcançados a partir da aplicação de lâminas de água na superfície do solo, antes da realização das operações de preparo e plantio utilizando-se um sistema de microaspersão.

O processo de umedecimento foi feito em um bloco experimental por vez, sendo monitorado com o medidor eletrônico de umidade HidroFarm, modelo HFM2130, que mede o percentual de umidade volumétrica do solo. As lâminas aplicadas foram calculadas por meio de planilha eletrônica, cujo parâmetro de entrada era a média aritmética dos valores de teor de água determinados em um ponto na região central de cada subparcela. Feita a distribuição das lâminas, o teor de água do solo era novamente determinado, verificando-se a necessidade de realização de ajustes. Considerou-se o teor de água do solo como adequado, quando o valor médio para a parcela não diferiu mais que 1% daquele estabelecido para a mesma.

2.3. Máquinas e implementos utilizados

2.3.1. Trator

Foi utilizado um trator Valtra[®] (Figura 1), modelo BM 110, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 116 cv (85 kW) a 2300 rpm, equipado com super redutor. Suas principais especificações técnicas são descritas na Tabela 4.

O trator estava equipado com pneus Goodyear 14.9 - 24 R1 no eixo dianteiro e, 18.4 - 34 R1 no eixo traseiro, os quais estavam desprovidos de lastro líquido.



Figura 1. Trator Valtra® modelo BM110 utilizado no experimento.

Tabela 4. Especificações do trator utilizado no experimento

Especificações	BM110
Potência do motor na rotação nominal	85 kW
Potência da TDP na rotação nominal do motor	64,72 kW
Rotação de potência máxima	2300 rpm
Torque máximo	430 N.m
Rotação de torque máximo	1400 rpm
Número de cilindros do motor	4
Cilindrada	4400 cm ³
Aspiração	Turboalimentado
Peso do trator lastrado	6070 kg

FONTE: Valtra®

As marchas utilizadas, bem como as demais condições de operação do trator (Tabela 5) foram estabelecidas com base em testes realizados em condições de solo da área experimental, com cada um dos implementos, garantindo-se que as velocidades de operação estivessem de acordo com as recomendadas pelos respectivos fabricantes.

Tabela 5. Configurações do trator em cada operação

Operação	Rotação do motor (rpm)	Marcha	Uso do super redutor	Velocidade (km h ⁻¹)	TDA
Aração	1600	L3	Não	5,1	Sim
Gradagem	1600	L4	Não	6,9	Sim
Destorroamento/encanteiramento	1860	L4	Sim	0,74	Não
Semeadura	1860	L4	Sim	0,77	Não

2.3.2. Arado

Utilizou-se um arado fixo, marca Tatu Marchesan[®], modelo AF, com 3 discos de 26" x 4,75 mm e largura de corte teórica de 920 mm (Figura 2). O mesmo foi acoplado ao sistema de levante hidráulico de três pontos do trator e apresentava massa 408 kg.



Figura 2. Arado utilizado no experimento.

2.3.3. Grade

Utilizou-se uma grade aradora intermediária, off-set, marca KLR[®], modelo GAC245 1424, com 14 discos de 24" e largura teórica de trabalho de 1750 mm (Figura 3). A mesma foi acoplada à barra de tração do trator e apresentava massa de 1254 kg.



Figura 3. Grade utilizada no experimento.

2.3.4. Enxada rotativa

Foi utilizada uma enxada rotativa equipada com encanteirador, marca Mec-Rul[®], modelo ERP 150, com 6 flanges e 36 lâminas no total, largura de corte teórica de 1,50 m, largura de canteiro de 1,25 m e massa de 464 kg (Figura 4), sendo a mesma acoplada ao trator por meio do sistema de levante hidráulico de três pontos. Durante as operações, ela trabalhou com a placa de impacto totalmente abaixada, de modo a elevar o destorroamento do solo.



Figura 4. Enxada rotativa com encanteirador utilizada no experimento.

2.3.5. Semeadora

O plantio da cultura foi efetuado utilizando-se uma semeadora de precisão, pneumática, marca Jumil, modelo Natura air 2400, com 5 linhas e largura útil de 1300 mm (Figura 5), com massa de 650 kg, quando vazia.



Figura 5. Semeadora de precisão utilizada no experimento.

A semeadora estava equipada com discos próprios para semeadura da cebola em fileira dupla e, foi regulada para distribuir 20 sementes por metro linear, com profundidade de semeadura de 0,012 m, espaçamento entre fileiras de 0,10 m e entre linhas de 0,15 m. A pressão negativa (vácuo) foi mantida em torno de 50 mbar. As regulagens foram feitas conforme orientações de técnicos com experiência no plantio mecanizado de cebola na região e nas recomendações do fabricante.

2.4. Plantio e manejo da cultura

A semeadura da cebola ocorreu ao final do mês de junho de 2017, sendo o início da emergência das plantas observado em 3 de julho, seis dias após o plantio.

A colheita dos bulbos para determinação da produtividade foi realizada em 6 de outubro de 2017, 100 dias após a semeadura, quando mais de 90% das plantas cultivadas haviam sofrido estalo.

Durante o cultivo os mesmos tratos culturais foram aplicados a todas as unidades experimentais.

2.4.1. Sementes

Para o plantio foram utilizadas sementes de cebola da variedade NUN 1205, desenvolvida pela Nunhems[®], caracterizada por ser uma cebola híbrida, de dias curtos e de alta precocidade, com possibilidade de encurtamento do ciclo de desenvolvimento em 15 a 20 dias; alta produtividade; produção de bulbos mais firmes e resistência à raiz rosada. As principais características das sementes utilizadas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Principais características das sementes utilizadas no experimento

Características das sementes de cebola NUN 1205	
Número de sementes kg ⁻¹	236170
Germinação	90%
Pureza	99,95%
Material inerte	0,05%
Origem	Argentina
Tratamento	Thiram

FONTE: Nunhems[®]

2.4.2. Irrigação

A cebola foi irrigada por meio de um sistema de gotejamento, composto pelo reservatório, conjunto motobomba, tubulações, injetor venturi e fitas gotejadoras. Em cada canteiro foram dispostas quatro fitas gotejadoras, cujos gotejadores apresentavam vazão de 1,6 L h⁻¹, sendo espaçados entre si de 0,20 m (Figura 6A).

O manejo da irrigação foi feito mediante a aplicação da lâmina de água necessária para manter o teor de água do solo próxima à capacidade de campo, na faixa de 0,0 a 0,20 m de profundidade, evitando que as plantas sofressem déficit hídrico. As irrigações foram feitas diariamente nas primeiras fases do ciclo, passando depois a serem feitas em dias alternados.

A lâmina de irrigação foi determinada a partir da medição do teor de água do solo em quatro pontos por bloco, no canteiro central de cada parcela.

O valor médio obtido para o bloco com menor teor de água foi usado na determinação da lâmina.



Figura 6. Fertirrigação da cebola por meio do sistema de irrigação por gotejamento (A e B) e determinação da umidade do solo para manejo da irrigação (C e D).

As determinações do teor de água atual do solo foram feitas utilizando-se o medidor eletrônico de umidade HidroFarm, modelo HFM2130 (Figura 6 C e D), que mede o percentual de umidade volumétrica do solo. Suas principais especificações técnicas são apresentadas na Tabela 7.

No estágio de maturação dos bulbos, sinalizado pelo estalo das plantas, a irrigação foi gradualmente reduzida, sendo interrompida três dias antes da colheita.

Tabela 7. Especificações técnicas do medidor eletrônico de umidade Hidrofarm

Especificações	
Escala de medição	0 a 60%
Resolução da medição	0,1%
Precisão da medição	±3%
Duração de uma medição	Menos que 2 s
Volume de medição	Cilindro de aproximadamente 15 cm de raio e 20 cm de profundidade
Comprimento da área ativa	20 cm
Temperatura de operação	0 a 50 °C
Compensação de temperatura	Sim

2.4.3. Aplicação de fertilizantes

Para possibilitar o desenvolvimento apropriado da cultura foram realizadas adubações de fundação e cobertura, cuja recomendação foi feita com base nos resultados da análise química do solo e nas necessidades nutricionais da cebola. As dosagens de cada fertilizante (Tabela 8) seguiram recomendações agrônômicas para cada fase da cultura.

Tabela 8. Fertilizantes aplicados no cultivo da cebola durante o experimento

Fertilizante	Quantidade aplicada (kg ha⁻¹)
MAP Granulado (10-50-00)	625,00
Dripsol [®] Inicial (15-30-15)	50,00
Uréia	66,67
MAP Purificado	100,00
Amiorgan [®] LP	300,00
Nitrato de cálcio	208,33
Cloreto de potássio	383,33
Sulfato de magnésio	383,33
Dripsol [®] Micro Equilíbrio	4,17

As aplicações em cobertura foram feitas via fertirrigação até a décima primeira semana após a emergência das plantas. Para sua realização os fertilizantes foram solubilizados em água e injetados no sistema de irrigação

por meio de um injetor Venturi de uma polegada, trabalhando a uma pressão de entrada de um bar e sucção em torno de 89,50 L h⁻¹ (Figura 6B).

2.4.4. Controle fitossanitário

A cebola é uma cultura susceptível a um grande número de pragas e doenças, tornando-se necessário o controle das mesmas por meio da aplicação dos defensivos agrícolas adequados.

Durante o experimento foi necessária à aplicação de inseticidas para o controle de formigas, lagartas e da mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*); e de fungicidas para o controle da mancha-púrpura, doença ocasionada pelo fungo *Alternaria porri*.

As aplicações foram realizadas com base em recomendações agronômicas utilizando-se pulverizador costal. Os mesmos tratamentos foram aplicados a todas as unidades experimentais.

2.4.5. Controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas foi efetuado por meio da aplicação de herbicidas e de operações manuais de cultivo. Os herbicidas (Tabela 9) foram aplicados em pós-emergência da cultura utilizando-se um pulverizador costal.

Tabela 9. Herbicidas aplicados no cultivo da cebola durante o experimento

Herbicida	Dosagem aplicada
Oxifluorfem	0,20 L ha ⁻¹
Cletodim	0,40 L ha ⁻¹
Pendimetalina	2,00 L ha ⁻¹

A retirada manual das plantas daninhas foi realizada cerca de 49 dias após a semeadura, quando se constatou que as primeiras aplicações de herbicida haviam sido insuficientes ao controle das plantas daninhas.

2.5. Avaliação da resposta da cultura aos tratamentos aplicados

2.5.1. Velocidade de emergência de plântulas

A velocidade de emergência das plântulas é uma medida da qualidade do processo de semeadura, determinada por meio da contagem periódica das plântulas durante o período de germinação e início do desenvolvimento inicial (MIALHE, 2012)

Para cálculo do índice de velocidade de emergência foi efetuada a contagem das plântulas em três linhas de plantio, nos dez metros centrais de cada subparcela. A contagem teve início no primeiro dia em que foi notada a emergência (sexto dia após a semeadura) e foi interrompida após a estabilização da mesma. O índice de velocidade de emergência foi determinado utilizando-se a Equação 1, adaptada de Maguire (1962).

$$IVE = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad (1)$$

em que,

IVE = Índice de velocidade de emergência;

N = Número de plântulas na contagem de ordem n;

D = Número de dias da semeadura em que foi realizada a contagem de ordem n;

1, 2,... n = ordem cronológica da contagem de plântulas.

2.5.2. Distribuição longitudinal de plantas

A avaliação da distribuição longitudinal de plantas é feita confrontando-se o espaçamento entre plantas na linha de plantio com a razão de semeadura definida na regulagem da máquina.

Para realizar esta avaliação foram determinados 250 espaçamentos longitudinais entre plantas, em uma fileira de plantio de cada subparcela. Posteriormente, os espaçamentos medidos foram distribuídos em classes de frequência e classificados em três categorias distintas em função do espaçamento de referência (X_{ref}), conforme Tabela 10.

O espaçamento de referência considerado na avaliação foi de 0,05 m entre plantas, obtido a partir da regulagem da semeadora para distribuição de 20 sementes por metro linear.

Tabela 10. Classificação dos espaçamentos entre plantas

Classificação dos espaçamentos	Intervalo de tolerância para variação de X_i
Duplos	$X_i \leq 0,5X_{ref}$
Normais	$0,5X_{ref} < X_i \leq 1,5X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5X_{ref}$

2.5.3. Produtividade total de bulbos

Para a determinação da produtividade da cultura foram colhidas todas as plantas presentes em uma área de 2 m², localizada nos dez metros centrais de cada canteiro (8% da área plantada do canteiro). A colheita foi realizada 100 dias após a semeadura quando mais de 90% das plantas havia sofrido estalo (Figura 7).



Figura 7. Plantas no estágio final de maturação dos bulbos (A) e colheita manual (B).

As plantas colhidas foram acondicionadas em sacos apropriados e transportadas até o laboratório, onde passaram pelo processo de cura ficando expostas ao sol por quatro dias (Figura 8). Terminada a cura, folhas e raízes remanescentes foram cortadas e os bulbos, já limpos, foram pesados em balança com precisão de 0,01 kg. A massa de bulbos foi utilizada no cálculo da produtividade.



Figura 8. Cura dos bulbos.

2.5.4. Estande final

O estande final da cultura foi determinado por meio da contagem dos bulbos colhidos em cada canteiro. O valor resultante foi extrapolado para número de plantas por hectare cultivado.

2.5.5. Classificação dos bulbos e produtividade por classe de diâmetro transversal

A cebola produzida foi classificada de acordo com o maior diâmetro transversal dos bulbos em sete classes: 0, 1, 2, 3, 3 cheio, 4 e 5, conforme recomendado pelo MAPA (1995) e CEAGESP (2001) (Tabela 11). Essa classificação é aplicada a cebola destinada ao consumo “in natura” a ser comercializada no mercado interno e entre os países membros do Mercosul.

Para efetuar a classificação, todos os bulbos colhidos tiveram seu maior diâmetro transversal determinado utilizando um paquímetro digital, sendo separados em bandejas de acordo com a classe a que pertenciam (Figura 9).

Após a separação, os bulbos de cada classe foram pesados para a determinação da produtividade por classe. Em seguida foi calculada a porcentagem representada pela produtividade de cada classe em relação a total (Equação 2).

$$P_n = \frac{PC_n}{PT} 100 \quad (2)$$

em que,

P_n = Porcentagem da produtividade da classe n em relação à produtividade total (%);

PC_n = Produtividade da classe n (kg ha^{-1});

PT = Produtividade total da subparcela (kg ha^{-1}); e

n = classe 0, 1, ... 5.

Tabela 11. Classes de cebola de acordo com o diâmetro transversal do bulbo

Classe	Diâmetro transversal do bulbo (D_t)
0	$D_t < 15 \text{ mm}$
1	$15 \text{ mm} \leq D_t < 35 \text{ mm}$
2	$35 \text{ mm} \leq D_t < 50 \text{ mm}$
3	$50 \text{ mm} \leq D_t < 60 \text{ mm}$
3 cheio	$60 \text{ mm} \leq D_t < 70 \text{ mm}$
4	$70 \text{ mm} \leq D_t < 90 \text{ mm}$
5	$D_t \geq 90 \text{ mm}$



Figura 9. Classificação dos bulbos por classe de diâmetro transversal e determinação da produtividade por classes.

2.5.6. Produtividade comercial de bulbos

A produtividade comercial foi determinada a partir da massa de bulbos com diâmetro transversal igual ou maior a 35 mm, enquanto a não comercial foi calculada com base na massa de bulbos com diâmetro transversal menor que 35 mm. Os valores resultantes foram extrapolados para toneladas de cebola por hectare cultivado.

2.5.7. Diâmetro médio dos bulbos

O diâmetro transversal médio dos bulbos foi determinado conforme Equação 3 para cada combinação de tratamentos.

$$D_m = \frac{\sum_1^N D_t}{N} \quad (3)$$

em que,

D_m = Diâmetro médio dos bulbos (mm);

D_t = Diâmetro transversal de cada bulbo colhido (mm);

N = Número de bulbos colhidos.

2.6. Análises estatísticas

Os dados obtidos para os diferentes parâmetros foram submetidos à análise de variância e de regressão.

Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey nos níveis de 5 e 10% de probabilidade. Para o fator quantitativo foi aplicada análise de regressão, sendo os modelos selecionados com base no comportamento do fenômeno, no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t ao nível de 5% de probabilidade.

O grau de relacionamento entre algumas das variáveis de interesse foi determinado por meio do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson, cuja significância foi testada ao nível de 5% pelo teste t de Student.

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa computacional R (R CORE TEAM, 2017).

3. Resultados e discussão

3.1. Velocidade de emergência de plântulas (IVE)

A velocidade de emergência das plântulas de cebola não foi influenciada significativamente pela interação entre os teores de água e sistemas de preparo do solo ($P > 0,10$). A análise do efeito simples dos tratamentos permitiu observar que a variação do teor de água no solo afetou significativamente a velocidade de emergência das plantas ao nível de 5% de probabilidade, enquanto os sistemas de preparo apresentaram efeito significativo ao nível de 10%.

O preparo do solo composto por uma operação de aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento (P1) proporcionou maior velocidade de emergência, quando comparado ao preparo com menor número de operações (uma gradagem e uma operação de encanteiramento – P3) (Tabela 12).

Tabela 12. Índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de cebola em função dos sistemas de preparo do solo

Sistemas de preparo	IVE
P1	25,95 a
P2	24,71 ab
P3	23,10 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade.

O maior número de mobilizações ocorrido no sistema de preparo P1 provavelmente fez com que o solo ficasse mais bem destorroado, e isso pode ter aumentado o contato entre o mesmo e as sementes, facilitando a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, tornando mais rápida a germinação e emergência das plântulas.

A variação do teor de água do solo apresentou efeito quadrático sobre o índice de velocidade de emergência, conforme observado na Figura 10.

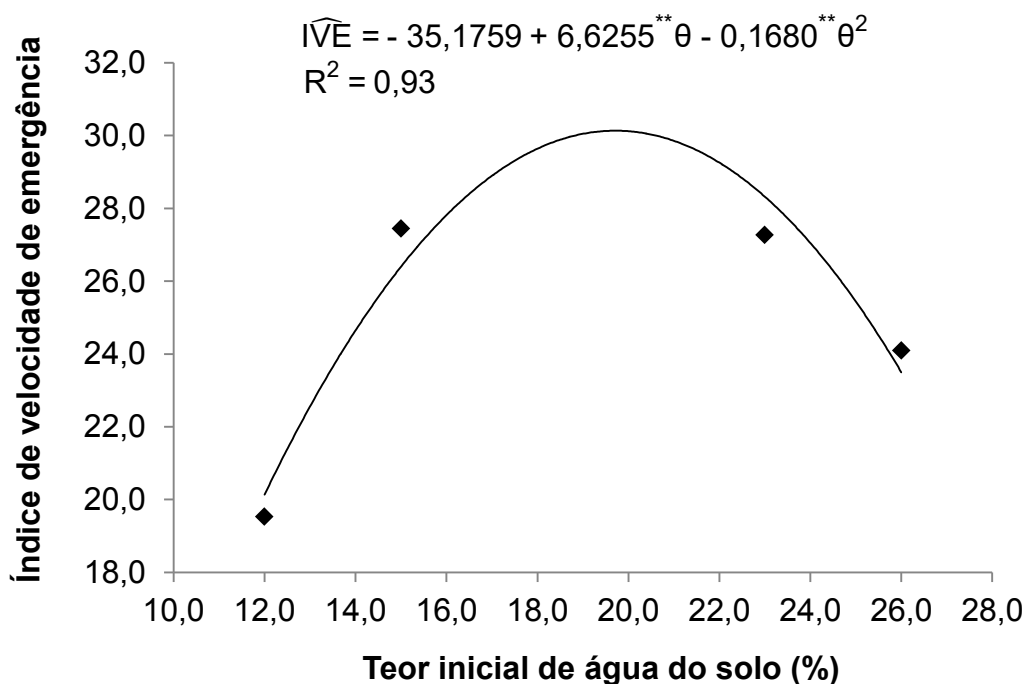


Figura 10. Índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de cebola em função do teor inicial de água do solo (θ). **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

O índice de velocidade de emergência se eleva com o aumento do teor de água no solo até atingir um valor máximo de 30,15, correspondente a um teor de água de 19,72%. Teores superiores a este valor ocasionam a redução da velocidade de emergência.

O comportamento observado para o índice de velocidade de emergência está provavelmente associado ao processo de embebição das sementes que afeta a germinação e a emergência das plântulas tanto devido à falta de água, quando ao excesso. A absorção de água pelas sementes é necessária para reativar e sintetizar enzimas que atuam na liberação de substâncias de reserva essenciais ao crescimento do embrião (PESKE; PESKE, 2011).

A diferença no potencial hídrico entre a semente e o solo é o que determina a taxa de transferência da água do solo para a semente. Como neste trabalho a primeira irrigação foi realizada pelo menos 24 horas após o plantio, as sementes depositadas nos canteiros com menor teor de água (12%), provavelmente não conseguiram absorver água suficiente nas primeiras horas após a semeadura para desencadear o processo de germinação, ficando

“armazenadas” no solo até a irrigação, ou dando início a um processo de deterioração, a depender da quantidade de água absorvida (PESKE; PESKE, 2011).

A elevação do teor de água até 19,72% aumentou a taxa de transferência de água do solo para a semente favorecendo a germinação e fazendo com que a maior parte das plântulas emergisse nos primeiros dias em que foi realizada a contagem, elevando conseqüentemente, o índice de velocidade de emergência.

Os teores de água superiores a 19,72% reduziram o índice de velocidade de emergência, provavelmente, por que a maior disponibilidade de água pode ter tornado intenso o processo de embebição nos primeiros momentos do contato da semente seca com o solo muito úmido. De acordo com Peske e Peske (2011), nessas situações pode ocorrer ruptura das membranas celulares da semente, provocando o aumento da lixiviação de solutos, a perda de vigor ou mesmo sua morte, o que ocasiona a redução na velocidade de emergência das plântulas e muitas vezes da porcentagem de emergência.

O comportamento observado neste trabalho condiz com a afirmação feita por Marouelli et al. (2005) de que a semeadura em solo seco seguida de irrigação tende a gerar problemas de estande e crescimento desigual das plantas de cebola, devendo-se irrigar o solo previamente, independentemente do sistema de plantio.

3.2. Distribuição longitudinal de plantas

A distribuição longitudinal das plantas não foi afetada significativamente pelos sistemas de preparo e pela variação do teor de água no solo ($P > 0,05$). Os valores médios das porcentagens de espaçamentos duplos, normais e falhos são apresentados na Tabela 13. O espaçamento médio entre as plantas foi de 0,041 metros.

A alta porcentagem de espaçamentos duplos (39,52%) pode estar relacionada a falhas na dosagem das sementes de cebola, mais especificamente pelo acúmulo de mais de uma semente por furo do disco dosador. Uma das explicações para este comportamento está no tamanho das

sementes, que por ser pequeno dificulta o trabalho do dispositivo seletor da semeadora.

Tabela 13. Valores médios da porcentagem de espaçamentos duplos, normais e falhos obtidos com a semeadura da cebola

Classificação dos espaçamentos	Porcentagens médias
Duplos	39,52%
Normais	47,81%
Falhos	12,68%

Outro fato que pode ter contribuído para a ocorrência de espaçamentos duplos é a patinação das rodas de acionamento da semeadora. A rotação da roda sem um deslocamento correspondente da máquina faz com que sementes dosadas por mais de um furo do disco caiam mais próximas do que deveriam.

A utilização de maiores velocidades de deslocamento do conjunto trator-semeadora pode vir a reduzir a quantidade de espaçamentos duplos, elevando conseqüentemente, a porcentagem de espaçamentos normais entre plantas. Deve-se, entretanto, tomar o cuidado de não ultrapassar a velocidade máxima de semeadura determinada pelo fabricante da máquina, que é de 3 km h⁻¹.

Os espaçamentos falhos, por sua vez, ocorreram devido ao não preenchimento total do disco dosador de sementes, o que fez com que o espaçamento entre algumas plantas adjacentes na linha de plantio fosse maior que o recomendado.

Episódios de não preenchimento e de acúmulo de mais de uma semente por furo do disco dosador foram observados em diversas ocasiões durante o processo de semeadura. Entretanto, conforme comprovado pelos resultados das análises estatísticas apresentadas, a intensidade com a qual os problemas de regularidade na distribuição longitudinal das plantas se manifestaram, foi semelhante para todos os tratamentos estudados, não trazendo prejuízo à interpretação dos demais resultados apresentados nesse trabalho.

3.3. Estande final

O estande final da cultura não foi significativamente influenciado pela interação entre os teores de água e sistemas de preparo do solo ao nível de

5% de probabilidade. Apenas o teor de água do solo afetou significativamente este parâmetro, apresentando efeito quadrático sobre o mesmo (Figura 11).

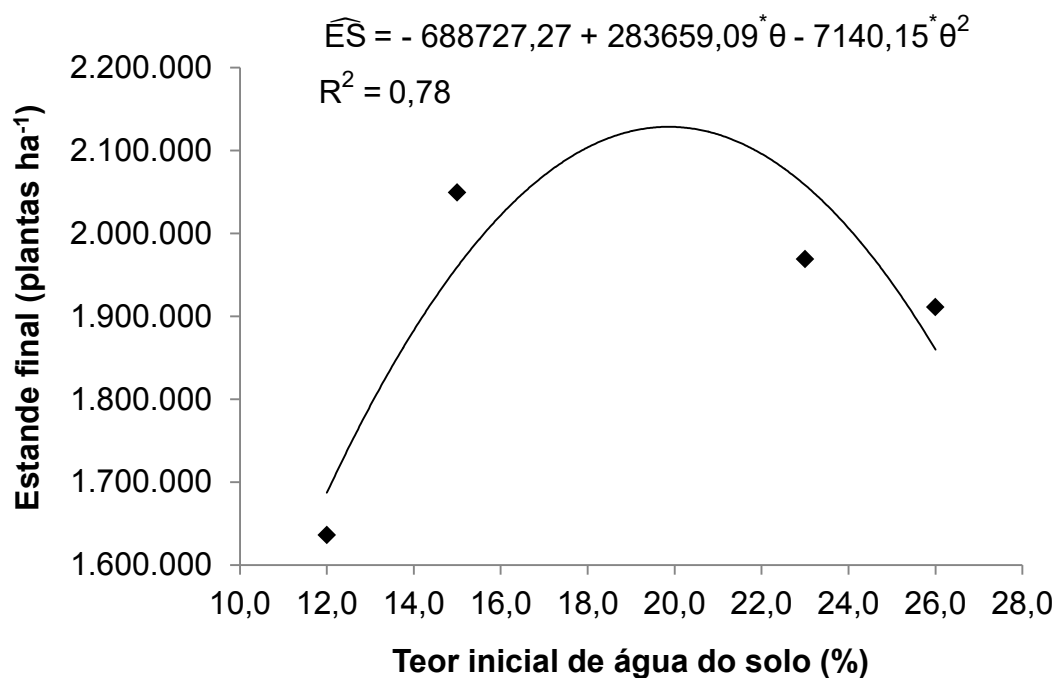


Figura 11. Estande da cultura (ES) em função do teor inicial de água do solo (θ). *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O máximo estande ocorre para um teor volumétrico de água no solo de 19,86%, a partir do qual há uma redução no número de plantas por hectare. Os altos teores de umidade podem ter reduzido a germinação das sementes ocasionando a redução do estande.

O estande de plantas apresentou correlação linear positiva ($r = 0,70$) com o índice de velocidade de emergência das plântulas, sendo esta significativa ao nível de 5% de probabilidade. Valores altos do índice de velocidade de emergência para um determinado tratamento indicam que a maior parte das plantas emergiu nos primeiros dias de avaliação. Assim, é possível que o estande tenha sido maior nesses casos pelo fato de que as plantas já estavam mais desenvolvidas quando a cultura foi acometida por pragas e doenças, as quais ocasionaram à morte de algumas plantas.

Não houve diferença significativa entre os valores de estande final determinados para os sistemas de preparo ($P > 0,1$). Os estandes médios foram de 1.994.688, 1.853.438 e 1.825.313 plantas ha⁻¹, respectivamente para

os sistemas P1 (uma aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento), P2 (duas gradagens e uma operação de encanteiramento) e P3 (uma gradagem e uma operação de encanteiramento), e são característicos de um cultivo com alta densidade de plantio.

Conforme ressaltam Oliveira et al. (2015), o método de implantação de cebola por semeadura direta permite obter altas populações finais de plantas (superiores a um milhão de plantas por hectare) sem prejuízo quanto a produtividade, uma vez que os bulbos apresentam grande capacidade de arranjo espacial quando em altas densidades de plantio, havendo casos de utilização de até 60 sementes por metro linear.

3.4. Produtividade total da cebola

A interação entre os tratamentos estudados não afetou significativamente a produtividade total da cultura da cebola ($P > 0,10$). Analisando-se o efeito simples dos tratamentos pôde-se verificar que a variação no teor de água do solo no momento do plantio afetou significativamente a produtividade ao nível de 10% de probabilidade (Figura 12).

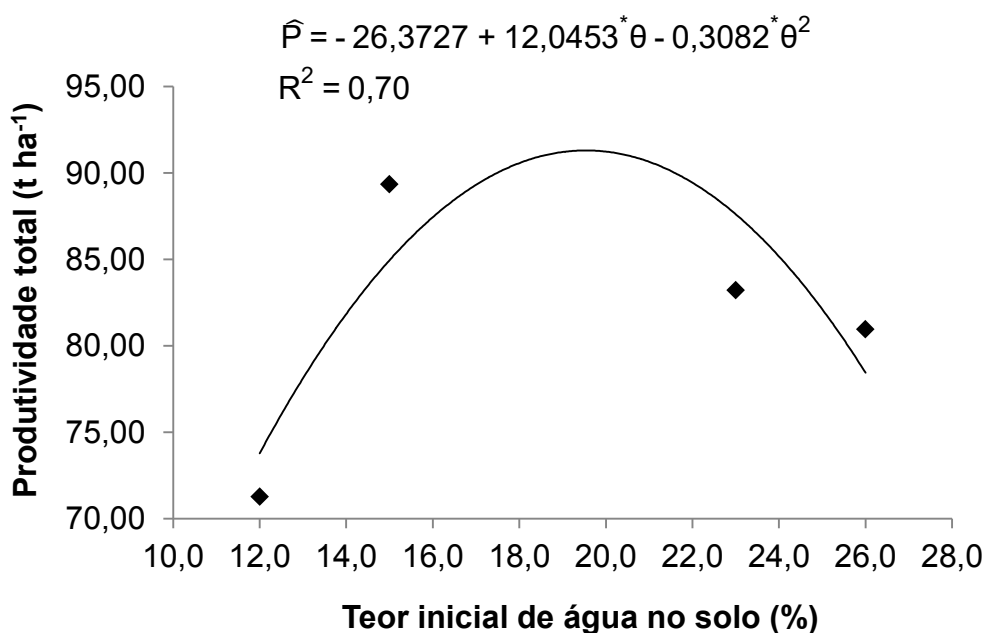


Figura 12. Produtividade total da cultura da cebola (P) em função do teor inicial de água do solo (θ). *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

De acordo com o modelo de regressão apresentado na Figura 12, a produtividade total de cebola se eleva com o aumento do teor de água no solo atingindo um valor máximo de 91,32 t ha⁻¹ para um teor de água de 19,54%, a partir do qual sofre redução.

A resposta apresentada pela produtividade em função da variação do teor de água está associada ao estande final de cada nível desse tratamento, uma vez que maiores números de plantas por hectare foram obtidos nos níveis intermediários, e que o teor de água que maximiza o estande é de 19,86% (Figura 11). Assim, o teor de água que leva a obtenção de um máximo estande é semelhante ao que leva à obtenção de máxima produtividade.

Analisando-se a relação entre esses dois parâmetros, foi encontrada correlação linear positiva, significativa ao nível de 1% de probabilidade ($r = 0,57^{**}$), comprovando-se que a resposta da produtividade em função da variação do teor de água do solo, está diretamente relacionada à do estande da cultura. Esses resultados são condizentes com os de Harms et al. (2015), que ao avaliarem a influência da densidade de plantas na produtividade, observaram que a produtividade total de cebola aumentou linearmente com o aumento do número de plantas por hectare.

Os sistemas de preparo do solo não apresentaram efeito significativo na produtividade total ($P = 0,45$). Os valores médios foram de 81,83; 78,18 e 83,59 t ha⁻¹, para os sistemas P1 (uma aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento), P2 (duas gradagens e uma operação de encanteiramento) e P3 (uma gradagem e uma operação de encanteiramento), respectivamente.

A ausência de influência dos sistemas de preparo do solo indica que a utilização de sistemas com menor número de operações de revolvimento é uma alternativa para otimizar o processo produtivo de cebola, reduzindo o custo das operações mecanizadas, sem prejuízo da produtividade.

Os valores médios de produtividade alcançados para cada sistema de preparo, bem como a produtividade média geral do cultivo (81,20 t ha⁻¹), foram superiores a produtividade média nacional para a safra de 2017, cujo valor foi de 29,64 t ha⁻¹, bem como à produtividade média do Nordeste (28,01 t ha⁻¹) (IBGE, 2017).

Os resultados encontrados neste trabalho foram semelhantes aos de Costa et al. (2016), que alcançaram uma produtividade total de 85,60 t ha⁻¹,

para a cebola híbrida NUN 1205 cultivada no sistema de transplântio, no período de julho a novembro de 2014, em Petrolina-PE.

3.5. Produtividade comercial de bulbos de cebola

A produtividade comercial de cebola, que se refere aos bulbos em perfeito estado cujo maior diâmetro transversal é igual ou superior a 35 mm, não foi significativamente influenciada pelos fatores estudados ($P > 0,10$).

Apenas para visualização dos resultados, são apresentadas na Tabela 14 as médias de produtividade comercial correspondentes a cada combinação de tratamentos.

Tabela 14. Produtividade comercial de cebola ($t\ ha^{-1}$) em cada combinação de tratamentos avaliada.

Sistemas de preparo	Teor de água no solo (%)			
	12	15	23	26
P1	58,40	81,52	64,52	74,07
P2	60,19	77,96	66,02	67,26
P3	68,99	74,35	83,47	70,46

A produtividade comercial média geral foi de $70,60\ t\ ha^{-1}$, aproximadamente $15\ t\ ha^{-1}$ a menos que a obtida por Costa et al. (2016) para a mesma cultivar implantada por meio de transplântio, em espaçamento de $0,10\ m \times 0,10\ m$. Essa diferença pode estar associada ao método de implantação adotado, ao maior espaçamento entre plantas ou ainda a maior ciclo (110 dias) utilizados no trabalho do autor.

A produtividade não comercial (bulbos com diâmetro transversal menor que 35 mm) foi influenciada significativamente apenas pelo teor de água do solo, ao nível de 10% de probabilidade (Figura 13).

De acordo com o modelo de regressão apresentado na Figura 13, a produtividade não comercial de cebola se eleva com o aumento do teor de água no solo atingindo um valor máximo de $12,71\ t\ ha^{-1}$ para um teor de água de 19,80%, a partir do qual sofre redução.

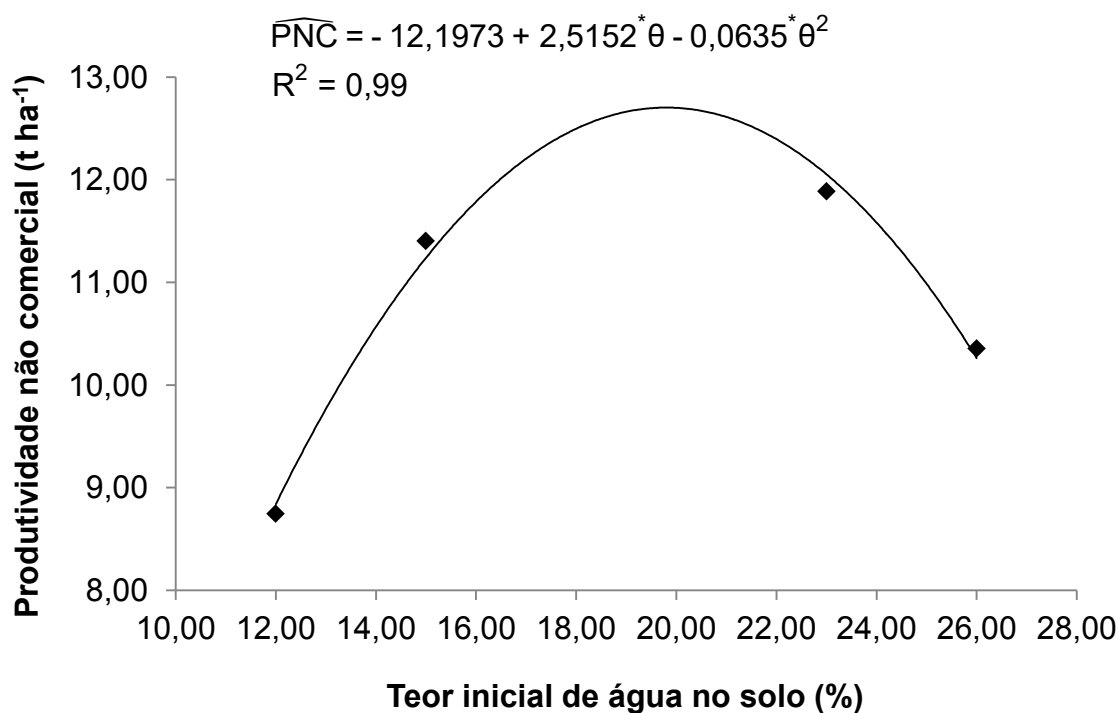


Figura 13. Produtividade não comercial da cultura da cebola (P) em função do teor inicial de água do solo (θ). *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A produtividade não comercial para os sistemas de preparo P1, P2 e P3 atingiu valores médios de 12,20, 10,32 e 9,27 t ha⁻¹, respectivamente, os quais não foram considerados significativamente diferentes.

3.6. Produtividade de bulbos por classe de diâmetro transversal

A porcentagem da produtividade de bulbos obtida na classe 0 em relação à produtividade total, foi influenciada significativamente apenas pelos sistemas de preparo do solo ($P < 0,05$) (Tabela 15).

O sistema P3 (uma gradagem e uma operação de encanteiramento) foi o que produziu a menor massa de bulbos da classe 0 por hectare cultivado, condição desejável, uma vez que estes bulbos não apresentam valor comercial. Os sistemas de preparo P1 e P2, com maior número de mobilizações do solo, não diferiram entre si e apresentaram valores superiores ao P3 (Tabela 15).

Tabela 15. Relação entre a produtividade obtida para as classe 0 e e 3 cheio e a produtividade total de cebola

Sistema de preparo	Produtividade da classe em relação à total (%)	
	Classe 0	Classe 3 cheio
P1	0,09 a	3,45 b
P2	0,09 a	4,89 ab
P3	0,03 b	7,62 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os tratamentos avaliados e a interação entre os mesmos não influenciaram significativamente a parcela da produtividade total correspondente aos bulbos da classe 1, cujo valor médio foi de 13,37%.

Em média, 54,88% da produtividade total obtida para o plantio correspondeu a bulbos da classe 2, cujo diâmetro varia de 35 a 50 mm, e que também não sofreu influência dos tratamentos. Mudanças nos padrões de consumo, motivadas principalmente pela redução do número de pessoas por família e pela preocupação com o desperdício dos alimentos, vem abrindo espaço no mercado para bulbos de cebola pertencentes a esta classe, elevando seu valor comercial.

Bulbos com diâmetro entre 50 e 70 mm, classificados nas classes 3 e 3 cheio, são os mais valorizados comercialmente, sendo preferidos pelos consumidores em geral (COSTA et al., 2016). Os tratamentos estudados neste trabalho não influenciaram significativamente a produção de bulbos da classe 3, que corresponderam em média a 26,21% da produtividade total obtida. Já para a classe 3 cheio, os sistemas de preparo do solo exerceram influência significativa sobre os valores de porcentagem da classe em relação à produtividade total, conforme apresentado na Tabela 15.

A maior porcentagem de massa de bulbos por hectare cultivado da classe 3 cheio ocorreu para o sistema de preparo P3, indicando que o menor número de operações de revolvimento do solo não limitou o desenvolvimento de cebolas de maior diâmetro e, contrariando a justificativa dada pelos produtores para o excessivo destorroamento do solo, uma vez que o sistema de preparo P1 composto por uma aração, duas gradagens e duas operações

de encanteiramento, foi o que apresentou menor produtividade de bulbos dessa classe.

A classe 4, na qual estão os bulbos com diâmetro entre 70 e 90 mm, foi responsável, em média, por 0,15 % da produtividade total e não sofreu influência significativa dos tratamentos estudados. Não foram produzidos bulbos pertencentes à classe 5 ($D_t \geq 90$ mm).

Uma vez que apenas as classes 0 e 3 cheio foram significativamente afetadas pelos sistemas de preparo do solo e, que o sistema de preparo P3 apresentou os menores valores de produtividade para bulbos da classe 0 e os maiores para bulbos da classe 3 cheio, pode-se considerar a realização de uma operação de gradagem e um encanteiramento como adequada ao cultivo comercial de cebola, conseguindo-se assim reduzir o tempo gasto com as operações de preparo do solo e seu custo.

3.7. Diâmetro médio dos bulbos

O diâmetro médio dos bulbos não foi influenciado significativamente pela interação entre os tratamentos, nem pelos teores de água do solo. Já os sistemas de preparo ocasionaram diferenças significativas nesse parâmetro, resultando em valores maiores para o P3 e menores para o P2 (Tabela 16).

Tabela 16. Diâmetro médio dos bulbos (D_m) nos diferentes sistemas de preparo do solo

Sistemas de preparo	D_m (mm)
P1	40,58 ab
P2	39,11 b
P3	44,82 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Todos os valores médios de diâmetro apresentados no Quadro 8 estão compreendidos no intervalo correspondente a classe 2 ($35 \text{ mm} \leq D_t < 50 \text{ mm}$), confirmando que esta foi a que apresentou maior expressividade. Os bulbos produzidos no sistema P3 foram os que mais se aproximaram da classe 3, indicando que este sistema de preparo foi favorável ao crescimento dos mesmos.

4. Conclusões

A variação no teor inicial de água do solo influenciou significativamente a resposta da cultura da cebola. Teores de água no solo entre 19 e 20% maximizam o índice de velocidade de emergência, o estande final da cultura e conseqüentemente, sua produtividade total.

A redução no número de operações de preparo não traz prejuízo ao rendimento da cultura nem a qualidade dos bulbos produzidos, no que diz respeito ao diâmetro médio e à distribuição por classes de diâmetro transversal.

O sistema de preparo composto por uma gradagem e uma operação de encanteiramento (P3) mostrou-se o mais adequado ao cultivo de cebola.

5. Referências bibliográficas

CEAGESP (Centro de Qualidade em Horticultura). Classificação da cebola (*Allium cepa* L.). **Programa brasileiro para modernização da agricultura**. 2001. 2p.

CEFS - Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia**. 2.ed. Salvador: CEPLAC/EMATERBA, EMBRAPA, EPABA/NITROFETIL, 1989. 176p.

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N., Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n.3, p.755-763, 2012.

COSTA, N. D.; CUNHA, T. J. F. RESENDE, G. M. Solos e plantio. In: **Cultivo da Cebola no Nordeste**. Petrolina: Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, n. 3. 2007. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112101/1/Cultivo-da-cebola.pdf>>. Acesso em 28 mar. 2018.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M.; YURI, J. E. Escolha adequada. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, n. 97, p. 6-8. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 225 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

FACTOR, T. L.; SILVEIRA, J. M. C.; PURQUERIO, L. F.; CALORI, A. H.; ROCHI; LIMA JÚNIOR, S. Produção de cebola em função do sistema de cultivo e método de estabelecimento de plantas. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, 2012.

HARMS, M. G., PRIA, M. D.; REZENDE, B. L. A.; PRESTES, A. M. C.; DALAZOANA, F. Influência da densidade de plantas e do uso de fungicida nas doenças foliares e na produtividade de cebola. **Horticultura Brasileira**. v. 33, n. 2, 2015.

HENRIQUES, G. P. S. A. **Densidades de plantio em cebola cultivada sob fertirrigação**. 49 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: v. 30, n. 12, p. 1-82, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento). Portaria 529/1995. **Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento**. Brasília-DF. 1995. 5p.

MARQUELLI, W. A.; COSTA, É. L.; SILVA, H. R. **Irrigação na cultura da cebola**. Circular Técnica 37, 1 ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba (SP), 1996. 722p.

NASCIMENTO, W. M.; DIAS, D. C. F. S.; SILVA, P. P. **Qualidade fisiológica da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo**. XI Curso sobre Tecnologia de Produção de Sementes de Hortaliças. 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51460/1/palestra17-Curso-Sementes-Hortalicas-11.pdf>>. Acesso em 25 mar. 2018.

OLIVEIRA, V. R.; MADEIRA, N. R.; RESENDE, F. V. SOUZA, R. B.; MARQUELLI, W. A. Sistema de produção da cebola. In: **Cultura da cebola:**

tecnologia de produção e comercialização. Lavras: Editora UFLA, 2015. Cap. 6, p. 185 - 203.

PESKE, S. T.; PESKE, F. B. Absorção de água sob estresse. **Revista internacional de sementes.** Ano XV, n. 3, 2011.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROCHA, F. E. C.; MIRANDA, J. E. C.; MAROUELLI, W. A. Semeadura de sementes pequenas. **Inf. Agropec.**, v. 15, n. 169, p. 13-16, 1991.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Produtividade de raízes tuberosas de batata-doce em diferentes sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 1929-1935, 2014.

TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). **Informações Tecnológicas.** Campinas: IAC, n. 95, 2014, 35 p.

CAPÍTULO III

Custos de produção de cebola em função de diferentes teores de água e sistemas de preparo de solo

Custos de produção de cebola em função de diferentes teores de água e sistemas de preparo de solo

Resumo: O cultivo da cebola é uma atividade cujo rendimento está atrelado não só aos fatores de produção, mas também ao comportamento do mercado. Um dos principais aspectos que os produtores precisam levar em conta na busca por rendimentos satisfatórios é o gerenciamento dos custos de produção. A cebola apresenta alto custo de produção e sua redução pode ser conseguida com o uso de técnicas adequadas de implantação e condução da cultura. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência de teores de água e sistemas de preparo do solo nos custos de produção da cultura da cebola. Foram avaliados três sistemas de preparo: P1 (aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento + semeadura), P2 (duas gradagens + encanteiramento + semeadura), P3 (uma gradagem + encanteiramento + semeadura); e quatro teores de água do solo: 12, 15, 23 e 26%. O experimento foi instalado em esquema de parcelas subdivididas, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Nas parcelas foram dispostos os teores de água e nas subparcelas, os sistemas de preparo. Foi determinado o custo referente às operações mecanizadas, às operações manuais, ao uso de sementes, defensivos, fertilizantes e embalagens, e a irrigação da cultura. Para avaliar qual combinação de tratamentos resultou em maior eficiência econômica foram determinados o custo total e o custo unitário de produção da cebola, a receita bruta, a receita líquida e a taxa interna de retorno. A utilização do sistema de preparo composto por uma gradagem e uma operação de encanteiramento, seguidas da semeadura da cebola, quando realizadas no solo com teor de água de 23%, resultou em menor custo unitário de produção, maior receita bruta, maior receita líquida e no percentual mais elevado para a taxa interna de retorno do investimento, sendo estas as condições mais indicadas do ponto de vista econômico para a implantação da cultura. As operações mecanizadas contribuíram com 4% do custo total de produção da cebola, enquanto as operações manuais foram responsáveis pela maior parcela desse custo, contribuindo com 36% do mesmo.

Palavras-chave: cebolicultura, taxa interna de retorno, eficiência econômica.

Onion production costs due to different water contentes and soil tillage systems

Abstract: Onion crop is na activity whose yield is linked not only to the factors of production, but also to market behavior. One of the main aspects that producers need to take into account in the search for satisfactory yields is the management of production costs. The onion presents high cost of production and its reduction can be achieved with the use of appropriate techniques of implantation and conduction of the crop. The objective of this work was to evaluate the influence of water contents and soil tillage systems on the production costs of onion crop. Three tillage systems were evaluated: P1 (plowing + two harrowing + two operations of build seedbeds + seeding), P2 (two harrowing + one operation of build seedbeds + seeding), P3 (one harrowing + one operation of build seedbeds + seeding); and four soil water contents: 12, 15, 23 and 26%. The experiment was installed in a split - plot scheme, in a randomized complete block design, with four replications. In the plots were arranged the water contents and in the subplots, the tillage systems. The cost of mechanized operations, manual operations, the use of seeds, pesticides, fertilizers and packaging, and the irrigation of the crop were determined. In order to evaluate which combination of treatments resulted in greater economic efficiency, the total cost and unit cost of onion production, gross revenue, net revenue and internal rate of return were determined. The use of the tillage system consisting of one harrowing and one operation of buil seedbed, followed by seeding of the onion, when carried out in soil with water content of 23%, resulted in lower unit cost of production, higher gross revenue, higher net revenue and the higher percentage for the internal rate of return on investement, being these the most indicated conditions from the economic point of view for the implantation of the crop. The mechanized operations contributed with 4% of the total cost of production of the onion, while manual operations accounted for the largest share of this cost, contributing 36% of the cost.

Keywords: onion cultivation, internal rate of return, economic efficiency

1. Introdução

Produção pode ser conceituada como o processo de transformação dos fatores adquiridos por uma empresa em produtos para a venda no mercado. Nesse processo, diferentes insumos ou fatores de produção são combinados de forma a produzir um bem ou serviço final. No caso da produção agrícola, essa transformação abrange uma série de etapas, que juntas dão origem ao sistema de cultivo de uma determinada espécie vegetal (HIRAKURI et al., 2012).

O sistema de cultivo da cebola (*Allium cepa* L.) é composto das seguintes etapas: planejamento, que consiste em reunir capital, mão de obra, insumos e área de plantio e, em determinar a melhor maneira de se executar as demais etapas; preparo da área, que normalmente envolve operações de limpeza, preparo e correção do solo; semeadura; adubação; controle fitossanitário (combate a doenças, pragas e plantas daninhas); e colheita e pós-colheita, etapas que abrangem o arranquio dos bulbos, toailete, sua classificação e embalagem.

O cultivo da cebola requer que os produtores envolvidos tenham domínio de técnicas que permitam obter uma alta produtividade, e conhecimento sobre os custos inerentes a produção, principalmente pelo fato de se tratar de um produto cujos preços são estabelecidos em função das relações de oferta e demanda. Essa situação não permite que o produtor seja capaz de conseguir rentabilidade apenas com base no bom manejo, sendo necessário que ele possua um controle rigoroso dos custos de produção e um bom acompanhamento da situação do mercado (SILVA; SOBRINHO, 2013).

O objetivo básico de uma empresa, seja ela agrícola ou não, é maximizar seus resultados. Para tanto, é necessário ter sempre a máxima produção possível para a utilização de uma determinada combinação de fatores, podendo-se alcançar esse objetivo de duas maneiras: através do aumento da produção para um dado custo total; ou da redução do custo total para um determinado nível de produção (VASCONCELLOS; GARCIA, 2014).

As decisões tomadas pelo produtor em cada etapa do cultivo refletem no custo total de produção e, conseqüentemente, nos resultados obtidos. Assim, a determinação do custo da produção agrícola é importante para a gestão de um

empreendimento rural, independentemente do seu porte ou das espécies cultivadas (CONAB, 2010).

Segundo Vasconcellos e Garcia (2014), os custos totais de produção são divididos em custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos totais correspondem à parcela do custo total que independe da variação na produção da empresa ou empreendimento agrícola, sendo decorrentes de fatores fixos de produção. Já os custos variáveis totais são dependentes da variação do volume de produção, referindo-se a fatores de produção tais como fertilizantes, defensivos, mão de obra, entre outros. O custo total de produção da cebola corresponde, portanto, a soma das parcelas de custo fixo e variável, decorrentes do uso de máquinas e implementos agrícolas, sementes, fertilizantes, água, energia, mão de obra e demais insumos.

Araújo et al. (2011) afirmaram que, por ser uma atividade altamente consumidora de capital, para que o cultivo da cebola se torne lucrativo os produtores precisam alcançar além de alta produtividade física, uma alta rentabilidade econômica.

Essa rentabilidade econômica é dependente de diversos fatores, entre os quais estão os sistemas de cultivo, a variação dos preços no mercado, a qualidade do produto, as condições ambientais, o nível tecnológico e a capacidade de gerenciamento do produtor. A escolha do sistema de preparo do solo, do método de plantio da cultura e das condições em que essas operações são realizadas pode influenciar o rendimento do cultivo da cebola, e ser determinante na obtenção de lucro.

Na região do Vale do São Francisco o cultivo da cebola é feito em sua maioria por pequenos produtores, geralmente em caráter familiar, sendo cultivadas pequenas áreas. A cultura é conduzida de forma pouco profissional, apesar dos esforços de instituições tais como a Embrapa Semiárido em testar e disseminar novas técnicas de manejo.

No que se refere ao preparo do solo para o plantio e demais operações passíveis de mecanização, observa-se que as práticas adotadas baseiam-se profundamente no conhecimento empírico dos produtores.

O preparo do solo, particularmente, aparenta ter um número de mobilizações excessivo, embora a maioria dos produtores defenda que a intensa desagregação do solo é um fator indispensável ao desenvolvimento da cultura. Esta afirmação pode ser contestada quando se observa, por exemplo,

que a produção da cebola vem sendo feita por meio do sistema de plantio direto em outras regiões produtoras.

A escolha de sistemas de preparo adequados aos solos e características da região, o estudo de novas técnicas de manejo, e a análise da viabilidade da mecanização de operações que ainda são feitas de forma manual, ou seja, a revisão dos métodos de produção até então utilizados, pode ser considerado um passo essencial a ser dado para que a cadeia produtiva da cebola se consolide.

De acordo com Vasconcellos e Garcia (2014) a escolha de um método de produção adequado depende basicamente de sua eficiência do ponto de vista técnico e/ou do ponto de vista econômico. Do ponto de vista econômico, um método é eficiente se quando comparado a outros apresenta menor custo para produzir uma mesma quantidade de produto.

Silva e Sobrinho (2013) afirmaram que a análise de investimento é um dos mecanismos que podem ser utilizados pelos cebolicultores para avaliar a viabilidade de seus cultivos, uma vez que utiliza técnicas que possibilitam embasar a tomada de decisão, reduzir incertezas e propiciar maior rendimento.

Estes autores afirmaram ainda que ferramentas como a estimativa da Taxa Interna de Retorno do investimento (TIR) e do tempo de retorno podem ser utilizadas nessa avaliação. A taxa interna de retorno, especificamente, é utilizada para decidir entre “aceitar ou rejeitar” um determinado projeto, sabendo-se que o melhor projeto será aquele que apresentar maior TIR.

Com base nas informações apresentadas, objetivou-se com esse trabalho avaliar o custo de produção de cebola em função de sistemas de preparo do solo em diferentes teores de água.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área localizada no perímetro irrigado Tourão, no município de Juazeiro – Bahia, latitude 9°24'07.3"S; longitude 40°26'08.7"W, e altitude de 376 m, a qual foi disponibilizada pela empresa MM Frutas. O clima do local é o tropical semiárido, tipo BshW, caracterizado por escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e elevada evaporação em consequência das altas temperaturas (COELHO et al., 2012).

Para avaliar a influência do teor inicial de água do solo e da adoção de sistemas de preparo nos custos de produção da cultura da cebola, desenvolveu-se um experimento em esquema de parcelas subdivididas, sendo os tratamentos quatro teores de água do solo (12,15, 23 e 26%), dispostos nas parcelas, e três sistemas de preparo do solo, dispostos nas subparcelas, adotando-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando-se 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi composta por um canteiro com largura de topo de 1,25 m e 20 m de comprimento, localizado no centro da subparcela, a qual apresentava 3 m de largura. As parcelas foram distanciadas entre si de 1 metro, formando uma área de bordadura entre os teores de água. Entre blocos foram deixados 15 metros para estabilização dos conjuntos mecanizados.

2.1. Tratamentos avaliados

2.1.1. Sistemas de preparo do solo

Foram avaliados três sistemas de preparo, os quais diferiram quanto ao número e tipo de operações, conforme apresentado na Tabela 1. Em todos os casos as operações citadas foram seguidas pela semeadura da cultura da cebola.

Tabela 1. Sistemas de preparo do solo avaliados durante o experimento

Preparo	Operações mecanizadas que compõem cada sistema
P1	Uma aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento
P2	Duas gradagens + uma operação de encanteiramento
P3	Uma gradagem + uma operação de encanteiramento

2.1.2. Teores de água do solo

Foram avaliados quatro teores volumétricos de água do solo (12, 15, 23 e 26%), os quais foram obtidos a partir da aplicação de lâminas de água na superfície do solo, antes da realização das operações de preparo e plantio utilizando-se um sistema de microaspersão.

O processo de umedecimento foi monitorado com um medidor eletrônico de umidade HidroFarm, modelo HFM2130, que mede o percentual de umidade volumétrica do solo. As lâminas aplicadas foram calculadas por meio de planilha eletrônica, cujo parâmetro de entrada era a média aritmética dos valores de teor de água determinados em um ponto na região central de cada subparcela. Feita a distribuição das lâminas, o teor de água do solo era novamente determinado, verificando-se a necessidade de realização de ajustes. Considerou-se o teor de água como adequado, quando o valor médio para a parcela não diferiu mais que 1% daquele estabelecido para a mesma.

2.2. Caracterização da área experimental

A área experimental estava em pousio há aproximadamente cinco anos, apresentando cobertura vegetal composta, principalmente, por gramíneas. Antes da instalação do experimento foi feita uma operação de roçagem, com posterior enleiramento e queima do material vegetal existente.

Após a retirada da vegetação realizou-se uma operação de gradagem, seguida de compactação superficial do solo por meio do tráfego do trator, objetivando-se nivelá-lo e uniformizar sua superfície.

2.2.1. Características físicas do solo

Para a determinação das características físicas do solo, antes da realização das operações acima mencionadas foram retiradas amostras simples nas faixas de 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade, em pontos escolhidos aleatoriamente.

As amostras compostas obtidas foram utilizadas para determinação da composição granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas e capacidade de campo, conforme metodologias descritas por Embrapa (2011).

O solo foi classificado como Vertissolo Háplico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-argilosa (Tabela 2). A média dos valores de densidade do solo das faixas de profundidade amostradas foi de 1,26 g cm⁻³. Já o teor médio de água na capacidade de campo foi de 19,96 dag kg⁻¹.

Tabela 2. Composição granulométrica do solo

Profundidade (m)	Areia	Argila (kg kg ⁻¹)	Silte
0,00 – 0,10	0,464	0,361	0,175
0,10 – 0,20	0,458	0,373	0,169
0,20 – 0,30	0,454	0,371	0,175

2.3. Máquinas e implementos utilizados

Para a instalação do experimento foi utilizado um trator Valtra[®], modelo BM 110, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 116 cv (85 kW) a 2300 rpm, cujas principais especificações técnicas são descritas na Tabela 3.

O trator estava equipado com pneus Goodyear 14.9 - 24 R1 no eixo dianteiro e, 18.4 - 34 R1 no eixo traseiro, os quais estavam desprovidos de lastro líquido.

Tabela 3. Especificações do trator utilizado no experimento

Especificações	BM110
Potência do motor na rotação nominal	85 kW
Potência da TDP na rotação nominal do motor	64,72 kW
Rotação de potência máxima	2300 rpm
Torque máximo	430 N.m
Rotação de torque máximo	1400 rpm
Número de cilindros do motor	4
Cilindrada	4400 cm ³
Aspiração	Turboalimentado
Peso do trator lastrado	6070 kg

FONTE: Valtra[®]

As marchas, bem como as demais condições de operação do trator (Tabela 4) foram estabelecidas com base em testes executados em condições

de solo da área experimental, com cada um dos implementos, garantindo-se que as velocidades de operação estivessem de acordo com as recomendadas pelos respectivos fabricantes.

Tabela 4. Configurações do trator em cada operação

Operação	Rotação do motor (rpm)	Marcha	Uso do super redutor	Velocidade (km h ⁻¹)	TDA
Aração	1600	L3	Não	5,1	Sim
Gradagem	1600	L4	Não	6,9	Sim
Destorroamento/encanteiramento	1860	L4	Sim	0,74	Não
Semeadura	1860	L4	Sim	0,77	Não

Para o preparo do solo utilizou-se um arado fixo, marca Tatu Marchesan[®], modelo AF, com 3 discos de 26" x 4,75 mm e largura de corte teórica de 920 mm; uma grade aradora intermediária, off-set, marca KLR[®], modelo GAC245 1424, com 14 discos de 24" e largura teórica de trabalho de 1750 mm; e uma enxada rotativa equipada com encanteirador, marca Mec-Rul[®], modelo ERP 150, dotada de 36 lâminas, largura de corte teórica de 1,50 m, largura de canteiro de 1,25 m e massa de 464 kg, que durante as operações, trabalhou com a placa de impacto totalmente abaixada, de modo a elevar o destorroamento do solo.

O plantio da cultura foi efetuado utilizando-se uma semeadora de precisão, pneumática, marca Jumil, modelo Natura air 2400, com 5 linhas e largura útil de 1300 mm, com massa de 650 kg, quando vazia.

A semeadora estava equipada com discos próprios para semeadura da cebola em fileira dupla e, foi regulada para distribuir 20 sementes por metro linear, com profundidade de semeadura de 0,012 m, espaçamento entre fileiras de 0,10 m e entre linhas de 0,15 m. A pressão negativa (vácuo) foi mantida em torno de 50 mbar. As regulagens foram feitas conforme orientações de técnicos com experiência no plantio mecanizado de cebola na região e nas recomendações do fabricante.

2.4. Custo de produção da cebola

O custo de produção da cebola foi determinado por meio do levantamento das despesas envolvidas no processo, desde o preparo do solo até a embalagem do produto.

Essas despesas foram subdivididas em custos com operações mecanizadas, custos com operações manuais, custo do sistema de irrigação e custo dos insumos usados.

2.4.1. Custo das operações mecanizadas

O custo de uso de máquinas agrícolas é normalmente dividido em custos fixos e custos variáveis. No presente trabalho os custos foram calculados para cada conjunto mecanizado utilizado nas operações, levando-se em conta a variação ocasionada pelos tratamentos.

A vida útil estimada em anos, a vida útil em horas e o valor residual das máquinas, foram obtidos a partir dos dados disponibilizados por CONAB (2010) e são apresentados na Tabela 5, juntamente com os valores de aquisição de cada máquina.

Tabela 5. Valores de aquisição, vida útil e valor residual das máquinas utilizadas.

Máquinas	Valor de aquisição (R\$)	Data da aquisição	Vida útil (anos)	Vida útil (horas)	Valor residual (%)
Trator Valtra	154.980,00	09/2015	10	15000	20
Arado	5.400,00	07/2013	15	2500	5
Grade aradora	16.000,00	05/2016	15	2500	5
Enxada rotativa	12.500,00	04/2018	12	2500	5
Semeadora	54.000,00	12/2015	15	1200	20

2.4.1.1. Custos fixos

Os custos fixos são aqueles que independem do uso da máquina e incluem as parcelas de depreciação, juros, abrigo e seguro.

2.4.1.1.1. Depreciação

A depreciação pode ser descrita como a mudança no valor das máquinas agrícolas por conta da idade, uso ou obsolescência, podendo ser distribuída uniformemente sobre o seu uso acumulado em horas ou hectares quando o objetivo da estimativa é prever os custos da produção agrícola (ASABE, 2011a; PAINTER, 2011).

A depreciação foi calculada pelo método linear, em que se subtrai o valor residual da máquina do seu valor de aquisição e divide-se o resultado pelo tempo previsto de uso da mesma (ASABE, 2011a) (Equação 1).

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_u} \quad (1)$$

em que,

D = Depreciação (R\$ h⁻¹);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$);

V_u = Vida útil estimada (h).

O valor residual foi calculado como uma porcentagem do preço de aquisição utilizando-se os coeficientes propostos pela CONAB (2010), por representarem melhor a situação brasileira, os quais foram apresentados na Tabela 1.

2.4.1.1.2. Juros

A parcela dos custos denominada juros refere-se ao custo de oportunidade gerado pela imobilização do capital decorrente do investimento na compra das máquinas agrícolas, sendo necessária, portanto, sua contabilização.

Para a estimativa dos juros foi considerada a taxa anual de juros aplicada ao Programa Moderfrota para o ano agrícola 2017/2018, a qual foi de 7,5% a.a. (MAPA, 2017). O custo de juros foi calculado como uma porcentagem do investimento médio feito em cada máquina (PAINTER, 2011), conforme Equação 2.

$$J = \frac{i (\text{IMM})}{H_a} \quad (2)$$

em que,

J = Juros sobre o capital investido (R\$ h⁻¹);

i = Taxa de juros (decimal);

IMM = Investimento médio na máquina (R\$);

H_a = número estimado de horas de trabalho por ano (h).

O investimento médio em máquinas foi calculado por meio da Equação 3 (PAINTER, 2011) para cada máquina utilizada.

$$\text{IMM} = \frac{V_a + V_r}{2} \quad (3)$$

em que,

IMM = Investimento médio na máquina (R\$);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$).

2.4.1.1.3. Abrigos e seguros

As parcelas do custo fixo referentes a abrigos e seguros são incluídas para contabilizar os gastos tidos pelo produtor na garantia da segurança e proteção das suas máquinas contra intempéries, roubos e acidentes.

A ASABE (2011a) recomenda que esses custos sejam estimados como porcentagens do preço de aquisição das máquinas e sugere a adoção dos valores de 0,75% a.a. para abrigos e 0,25% a.a. para seguros, as quais foram usadas neste trabalho. O custo horário referente a abrigos e seguros foi calculado por meio da Equação 4.

$$A/S = \frac{(T_A + T_S) V_a}{H_a} \quad (4)$$

em que,

A/S = Custo de abrigos e seguros (R\$ h⁻¹);

T_A = Taxa referente a abrigo (decimal);

T_S = Taxa referente a seguro (decimal);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

H_a = número estimado de horas de trabalho por ano (h).

2.4.1.2. Custos variáveis

Os custos variáveis das máquinas agrícolas são aqueles que se modificam com a quantidade de uso que se faz da máquina e incluem custos com reparos e manutenção, combustíveis, lubrificantes e aqueles relativos à mão de obra utilizada nas operações.

2.4.1.2.1. Reparos e manutenções

O custo com reparos e manutenções é uma das parcelas mais importantes dos custos de máquinas agrícolas, elevando-se geralmente, à medida que se aumenta as horas de uso.

Os mesmos foram estimados conforme a Equação 5, adaptada da relação proposta pela ASABE (2011a). Essa equação faz uma estimativa dos custos totais de todas as peças de reposição, materiais, e mão de obra para manter a máquina trabalhando em boas condições, podendo os custos reais variarem em função de diferenças na manutenção, gerenciamento e qualidade da máquina (ASABE, 2011a).

$$C_{rm} = \frac{(RF1) V_a \left[\frac{h}{1000} \right]^{(RF2)}}{h} \quad (5)$$

em que,

C_{rm} = Custo de reparo e manutenção (R\$ h⁻¹);

RF1 e RF2 = Fatores de reparo e manutenção (ASAE D497);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$); e,

h = Uso acumulado da máquina (horas)

Os fatores de reparo e manutenção (RF1 e RF2) foram obtidos na norma ASAE D497 (ASABE, 2011b) e são apresentados na Tabela 6. As horas

acumuladas e o preço inicial de cada máquina foram apresentados na Tabela 5.

Tabela 6. Fatores de reparo e manutenção das máquinas (ASABE, 2011b)

Máquinas	Fatores de reparo e manutenção	
	RF1	RF2
Trator Valtra	0,003	2,0
Arado	0,18	1,7
Grade aradora	0,18	1,7
Enxada rotativa	0,36	2,0
Semeadora	0,32	2,1

2.4.1.2.2. Lubrificantes

Para o cálculo dos custos com lubrificantes do trator foram consideradas as despesas com lubrificantes líquidos, ocasionadas pelas trocas periódicas dos óleos, e o consumo de graxa, decorrente das aplicações feitas quando necessário.

Os pontos de lubrificação do trator Valtra BM 110, as especificações dos lubrificantes recomendados, volumes utilizados, intervalo de troca e preços dos óleos, são apresentados na Tabela 6.

O consumo de óleo lubrificante do trator devido a trocas periódicas foi estimado por meio da Equação 6, adaptada de Mialhe (1974), para os pontos de lubrificação apresentados.

$$C_o = \frac{\left(\frac{h}{l_t}\right) Q}{h} \quad (6)$$

em que:

C_o = Consumo de óleo lubrificante ($L h^{-1}$);

h = Uso acumulado da máquina (horas);

l_t = Intervalo de troca de óleo (horas); e,

Q = Quantidade de óleo necessária (L).

O custo dos óleos lubrificantes, bem como da graxa foi determinado multiplicando-se os consumos estimados pelos preços dos respectivos produtos, os quais constam na Tabela 7.

Tabela 7. Características relacionadas à lubrificação do trator usado no experimento

Local	Especificações	Volume (L)	Intervalo de troca (h)	Custo* (R\$ L ⁻¹)
Motor	SAE 15W40	13,0	500	16,374 (R\$ L ⁻¹)
Caixa de câmbio, tomada de potência, transmissão final, freios, sistema hidráulico de levantamento e direção hidráulica	Óleo multifuncional	66,00	500	17,956 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – diferencial	SAE 90	5,50	500	10,00 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – redutor planetário (cada lado)	SAE 90	0,75	500	10,00 (R\$ L ⁻¹)
Ponto de lubrificação com graxa	Graxa a base de lítio NLGI nº 2	Conforme necessidade	500	25,10 (R\$ kg ⁻¹)

(Fontes: Valtra® e Trator Vale; valores referentes à maio de 2017)

O consumo de graxa para o trator e para os implementos foi calculado com base nos parâmetros fornecidos por Balastreire (2004) e Pacheco (2000), apresentados a seguir:

- consumo de graxa de tratores: 0,05 kg h⁻¹;
- consumo de graxa para implementos: 0,03 kg h⁻¹.

O custo da graxa usada na lubrificação do trator e implementos foi calculado multiplicando-se os respectivos consumos pelo preço da graxa apresentado na Tabela 7.

2.4.1.2.3. Mão de obra

No custo da mão de obra dos tratoristas foram incluídos o salário mensal, benefícios e encargos pagos pelos empregadores.

Foi utilizado o valor do salário mensal estabelecido pela Convenção Coletiva de Trabalho (CCT) 2017/2017, válida para os trabalhadores rurais da hortifruticultura irrigada do Vale do São Francisco. A CCT estipulou um salário mensal de R\$ 973,07, com acréscimo salarial de R\$ 72,98, para os trabalhadores desempenhando a função de tratorista, totalizando-se R\$ 1046,05 (PAIVA et al., 2017).

Para incluir os encargos e benefícios trabalhistas, adotou-se o percentual utilizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para trabalhadores contratados por meio de convenção coletiva, cujo valor total é de 41,59% (CONAB, 2010). A jornada de trabalho considerada foi de 8 horas (com exceção de sábados) ou 44 horas semanais (PAIVA et al., 2017).

O custo horário com a mão de obra de tratorista foi estimado de acordo com a Equação 7.

$$M_{OT} = \frac{(S \times 12)(1 + E)}{N_S H_S} \quad (7)$$

em que,

M_{OT} = Custo da mão de obra do tratorista (R\$ h⁻¹);

S = Salário mensal do tratorista (R\$);

E = Encargos e benefícios trabalhistas (decimal);

N_S = Número de semanas do ano; e,

H_S = Horas semanais trabalhadas.

2.4.1.2.4. Custo do combustível

O custo com combustível foi calculado utilizando-se os valores médios de consumo horário de diesel determinados para cada combinação entre os tratamentos avaliados.

A determinação do consumo horário foi feita por meio de um medidor de fluxo volumétrico Flowmate Oval[®] M-III, modelo LSF41 (Figura 1), instalado no

sistema de alimentação do trator. A calibração prévia do fluxômetro resultou em um fluxo de $3,60 \text{ L h}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$.



Figura 1. Fluxômetro utilizado na determinação do consumo horário de combustível.

O custo referente ao consumo de combustível nas operações mecanizadas foi calculado por meio da Equação 8.

$$C_{CM} = C_h P_d \quad (8)$$

em que,

C_{CM} = Custo do combustível usado nas operações mecanizadas ($\text{R\$ h}^{-1}$);

C_h = Consumo horário de combustível (L h^{-1}); e,

P_d = Preço de revenda do óleo diesel ($\text{R\$ L}^{-1}$).

Utilizou-se o preço médio de revenda do diesel S10 para o ano de 2017, no município de Juazeiro ($\text{R\$ } 3,215 \text{ L}^{-1}$), calculado a partir das médias mensais levantadas por pesquisa realizada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2018), em postos de combustível locais.

2.4.1.3. Custo total das operações mecanizadas nos tratamentos avaliados

A determinação do custo das operações mecanizadas em função da área cultivada foi feita dividindo-se os valores obtidos para cada componente pela capacidade operacional dos respectivos conjuntos.

Os custos fixos foram determinados pelo somatório dos valores da depreciação, juros, abrigos e seguros; enquanto os variáveis corresponderam ao somatório das parcelas referentes ao combustível, lubrificantes, reparos e manutenções e, mão de obra. O custo total foi obtido pelo somatório dos custos fixos e variáveis.

Os custos para cada combinação de tratamentos empregada na implantação da cultura foram determinados somando-se os valores estimados de acordo com a sequência de operações e condições de teor de água correspondentes.

2.5. Custo do sistema de irrigação

A irrigação da cebola foi feita por meio de um sistema de irrigação localizada por gotejamento, composto por um conjunto motobomba Branco[®], modelo BD-704 SPL, com potência do motor de 6,5 cv e vazão máxima de 78 m³ h⁻¹ e suas conexões; tubos DN 50 e DN 35; fitas gotejadoras com gotejadores de vazão igual a 1,6 L h⁻¹; iniciais de linha; fins de linha; chulas; registros de 50 mm; sistema de filtragem e sucção da água; sistema para fertirrigação; e reservatório.

O custo total anual do sistema foi determinado com base na metodologia apresentada por Marouelli e Silva (2011), sendo composto pelo custo fixo que inclui a depreciação do sistema e o custo de oportunidade do capital; e pelo custo variável, composto pelo custo operacional (despesas com energia elétrica ou combustível, mão de obra e água de irrigação) e pelo custo de manutenção.

A vida útil e os fatores para estimativa do custo com manutenção correspondem ao valor médio dos intervalos propostos por Marouelli e Silva (2011), e são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Custo inicial, vida útil e fator de manutenção para os componentes do sistema de irrigação

Componentes	Custo inicial (R\$ ha⁻¹)	Vida útil (anos)	Manutenção (% do custo inicial)
Fitas gotejadoras	14333,33	5	7,5
Demais componentes (materiais e serviços)	42359,33	12	4

2.5.1. Custo fixo

2.5.1.1. Depreciação

A depreciação média anual dos componentes do sistema de irrigação foi calculada utilizando-se o método linear (Equação 9). Os valores residuais ao final da vida útil foram de 0% do investimento inicial para as fitas gotejadoras e de 5% para os demais componentes, conforme intervalo sugerido por Marouelli e Silva (2011).

$$D_{ma} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad (9)$$

em que,

D_{ma} = Depreciação média anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

V_i = Valor de aquisição dos componentes (R\$ ha⁻¹);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$ ha⁻¹); e,

V_u = Vida útil estimada (anos).

2.5.1.2. Custo de oportunidade (juros)

A estimativa do custo de oportunidade foi feita por meio da Equação 10, utilizando-se como taxa de juros anual o valor médio da remuneração dos depósitos de poupança para o ano de 2017, que foi de 6,297% a.a. (BCB, 2018).

$$CO_{ma} = \frac{V_i + V_r}{2} i \quad (10)$$

em que,

CO_{ma} = Custo de oportunidade médio anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

V_i = Valor de aquisição dos componentes (R\$ ha⁻¹);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$ ha⁻¹); e,

i = Taxa de juros anual (decimal).

2.5.2. Custo variável

2.5.2.1. Custos operacionais

Os custos operacionais do sistema de irrigação correspondem àqueles gerados pela necessidade de mão de obra e energia (combustível ou elétrica) para o funcionamento do sistema, e ao custo da água de irrigação. Foram determinados os custos operacionais referentes ao cultivo de um ciclo da cultura.

Para a determinação do custo com a mão de obra de irrigação (M_{OI}) foi utilizado o valor do salário mensal dos irrigantes (R\$ 1.009,56), estabelecido pela Convenção Coletiva de Trabalho 2017/2017, para uma jornada de trabalho de 44 horas semanais (PAIVA et al., 2017). Foi incluído ainda um percentual de 41,59% sobre o valor do salário referente a encargos e benefícios trabalhistas (CONAB, 2010). Considerou-se no cálculo apenas o período correspondente ao ciclo da cultura implantada (100 dias) e jornada diária de 8 horas.

No bombeamento da água foi usado um conjunto motobomba com motor de quatro tempos, modelo B4T-6,5 H, movido à gasolina. O cálculo do custo do combustível para bombeamento (C_{CI}) foi feito com base no consumo médio do motor, que nas condições de trabalho utilizadas, foi de 1,8 L h⁻¹; no tempo médio necessário à irrigação da área plantada; e no preço médio da gasolina comum para o ano de 2017, no município de Juazeiro – BA (R\$ 4,068 L⁻¹) (ANP, 2018).

O uso da água para irrigação no perímetro irrigado em que foi instalado o experimento é cobrado por meio de taxas mensais, pagas pelos produtores em função do número de hectares irrigados. O valor cobrado é composto por uma tarifa fixa denominada K1, referente ao uso ou à amortização da infraestrutura de irrigação de uso comum para os projetos públicos de irrigação administrados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco; e de uma tarifa variável, K2, que consiste no rateio das despesas de mão de

obra, materiais, consumo de energia e serviços necessários ao funcionamento do perímetro, além de um valor destinado à formação de um fundo de reserva.

Considerou-se para a composição dos custos apenas a tarifa fixa K1, definida pela Portaria nº 277 do Ministério da Integração Nacional, datada de 31 de maio de 2017, para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2017. Para o Projeto Público de Irrigação Tourão, a tarifa K1 foi fixada em 59,84 R\$ ha⁻¹ ano⁻¹ (MI, 2017).

2.5.2.2. Custo de manutenção

O custo de manutenção do sistema de irrigação foi calculado como sendo correspondente a uma fração de seu custo de aquisição. Para tanto, os valores de aquisição dos componentes do sistema foram multiplicados pelos seus respectivos fatores de manutenção apresentados na Tabela 8.

2.5.3. Custo total do sistema de irrigação

O custo total do sistema de irrigação foi determinado por meio da Equação 11, a seguir:

$$C_I = (D_{MA} + CO_{MA}) + (M_{OI} + C_{CI} + C_{AI} + C_{MI}) \quad (11)$$

em que,

C_I = Custo total anual do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

D_{MA} = Depreciação média anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CO_{MA} = Custo de oportunidade médio anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

M_{OI} = Custo da mão de obra do irrigante (R\$ ha⁻¹);

C_{CI} = Custo com combustível para o bombeamento da água de irrigação (R\$ ha⁻¹);

C_{AI} = Custo da água de irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); e,

C_{MI} = Custo de manutenção do sistema (R\$ ha⁻¹).

2.6. Custo dos insumos

Os custos com fertilizantes, defensivos, sementes e embalagens para comercialização da cebola, foram calculados de acordo com as condições do

experimento e com base nos preços praticados para os produtos no município de Juazeiro – BA, entre os meses de junho e outubro de 2017.

Os fertilizantes aplicados em fundação e cobertura durante o cultivo da cebola são apresentados na Tabela 9. A determinação do custo total com esses insumos (R\$ ha⁻¹) foi feita por meio do somatório do custo individual de cada produto. O custo individual foi determinado multiplicando-se a quantidade necessária à adubação de um hectare pelo valor de aquisição do fertilizante.

Tabela 9. Fertilizantes aplicados no cultivo da cebola durante o experimento

Fertilizante	Quantidade aplicada (kg ha⁻¹)
MAP Granulado (10-50-00)	625,00
Dripsol [®] Inicial (15-30-15)	50,00
Uréia	66,67
MAP Purificado	100,00
Amiorgan [®] LP	300,00
Nitrato de cálcio	208,33
Cloreto de potássio	383,33
Sulfato de magnésio	383,33
Dripsol [®] Micro Equilíbrio	4,17

Durante o ciclo de produção da cebola foi necessária a aplicação dos herbicidas, fungicidas e inseticidas (Tabela 10). O cálculo do custo com defensivos foi feito levando-se em conta as dosagens aplicadas, o número de aplicações e o preço unitário do produto. O custo total correspondeu ao somatório dos custos individuais dos produtos usados.

Para o cálculo do custo com sementes foi determinada a massa de sementes utilizada no plantio experimental (área de 0,12 ha), encontrando-se a partir desta a quantidade necessária por hectare. No plantio foram utilizadas sementes da variedade NUN 1205, desenvolvida pela Nunhems[®]. O custo de um pacote de sementes com peso líquido de 423,42 g foi de R\$ 550,00.

Uma vez colhidos e limpos, os bulbos de cebola foram acondicionados em sacos de nylon com capacidade de 20 kg, próprios para a comercialização da hortaliça. O número de sacos necessário foi determinado dividindo-se produtividade comercial de cebola de cada unidade experimental por 20 kg. O

custo com sacarias foi calculado multiplicando-se o número de sacos pelo seu valor unitário (R\$ 0,95).

Tabela 10. Defensivos agrícolas aplicados no cultivo da cebola durante o experimento

Tipo de defensivo		Dosagem aplicada
Herbicidas	Oxifluorfem	0,20 L ha ⁻¹
	Cletodim	0,40 L ha ⁻¹
	Pendimetalina	2,00 L ha ⁻¹
	Deltametrina	0,25 L ha ⁻¹
Inseticidas	Fipronil	0,33 kg ha ⁻¹
	Metomil	0,5 L ha ⁻¹
	Ciromazina	0,075 kg ha ⁻¹
	Abamectina	0,375 L ha ⁻¹
	Óleo mineral	0,50 L ha ⁻¹
Fungicidas	Mancozebe	1,00 kg ha ⁻¹
	Azoxistrobina	0,096 kg ha ⁻¹
	Difenoconazol	0,25 L ha ⁻¹

2.7. Custo das operações manuais

Durante o cultivo da cebola foram realizadas as seguintes operações manuais: aplicação de defensivos agrícolas, retirada de plantas daninhas e colheita dos bulbos produzidos.

O custo com as operações de aplicação de defensivos (C_{AD}) foi determinado com base no valor do salário mensal estipulado para a atividade de hortifruticultura (R\$ 973,07), acrescido do adicional de insalubridade (20%) estabelecidos pela Convenção Coletiva de Trabalho 2017/2017 (PAIVA et al., 2017), e de um percentual de 41,59% sobre o valor do salário mensal referente a encargos e benefícios trabalhistas (CONAB, 2010). Foi considerado no cálculo apenas o período correspondente ao ciclo da cultura implantada (100 dias) com jornada diária de oito horas.

O custo da operação de retirada manual das plantas daninhas (C_{RP}) foi calculado multiplicando-se o número de diárias que foram necessárias à realização da operação na área experimental pelo valor pago por cada diária (R\$ 45,00).

O custo da mão de obra para a operação de colheita é normalmente negociado entre os produtores e os trabalhadores rurais e definido em função da massa de bulbos colhidos e limpos (corte das folhas e retirada da raiz). De acordo com os preços vigentes na localidade em que o trabalho foi desenvolvido, foram pagos R\$ 3,00 por cada saca de cebola colhida pelos trabalhadores (20 kg).

A determinação do custo da colheita para as diferentes combinações entre os tratamentos foi feita por meio da Equação 12.

$$M_{OC} = \frac{(3,00)(1000)P_C}{20} \quad (12)$$

em que,

M_{OC} = Custo da mão de obra necessária à colheita dos bulbos (R\$ ha⁻¹); e,

P_C = Produtividade comercial de bulbos em cada unidade experimental (t ha⁻¹).

O custo total das operações manuais foi determinado por meio da Equação 13.

$$CO_{MA} = C_{AD} + C_{RP} + M_{OC} \quad (13)$$

em que,

CO_{MA} = Custo total das operações manuais (R\$ ha⁻¹);

C_{AD} = Custo da mão de obra para aplicação de defensivos (R\$ ha⁻¹);

C_{RP} = Custo da mão de obra para retirada de plantas daninhas (R\$ ha⁻¹); e,

M_{OC} = Custo da mão de obra para a colheita dos bulbos (R\$ ha⁻¹).

Os custos com aplicação de defensivos e o com a retirada de plantas daninhas foram considerados os mesmos independentemente dos tratamentos avaliados. O custo com a colheita variou em função da produtividade comercial de cada unidade experimental.

2.8. Custo de produção

O custo de produção por hectare de cebola implantado (R\$ ha⁻¹) foi determinado pelo somatório dos custos com as operações mecanizadas, operações manuais, sistema de irrigação e insumos.

O custo unitário de produção (custo para produção de uma tonelada de cebola) foi determinado dividindo-se o custo de produção por hectare, pela respectiva produtividade comercial alcançada.

2.9. Indicadores de eficiência econômica

2.9.1. Receita bruta

A receita bruta da cultura foi calculada com base na produtividade comercial e nos preços médios pagos ao produtor pela saca de 20 kg de cebola, fornecidos pela Conab (2018) para a comercialização no estado da Bahia.

Com o intuito de demonstrar a influência da alta flutuação dos preços dessa cebola no rendimento da atividade, a receita bruta e os demais indicadores econômicos foram determinados para dois períodos de comercialização: época de realização da colheita (outubro de 2017); e seis meses depois (abril de 2018). Nestes períodos a saca de 20 kg de cebola foi vendida em média por R\$ 23,75 e R\$ 41,00, respectivamente.

2.9.2. Receita líquida

A receita líquida anual ou por ciclo da cultura consiste na renda obtida pelo produtor depois de descontado o custo total de produção. Assim, os tratamentos com maior receita líquida foram considerados os mais favoráveis à implantação da cultura da cebola.

O cálculo da receita líquida foi feito por meio da Equação 14 para os meses de outubro de 2017 e abril de 2018, mantendo-se o custo de produção constante.

$$RL = RB - CP \quad (14)$$

em que,

RL = Receita líquida anual ou por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹);
RB = Receita bruta anual ou por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹); e,
CP = Custo total de produção da cebola (R\$ ha⁻¹).

2.9.3. Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) consiste em uma medida percentual do rendimento sobre o capital inicial investido na produção da cultura, e foi calculada conforme a Equação 15 (SILVA et al., 2012).

$$\sum_{j=0}^n RB_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n CP_j (1 + TIR)^{-j} \quad (15)$$

em que,

TIR = Taxa interna de retorno (%);

RB = Receita bruta anual (R\$ ha⁻¹);

CP = Custo total de produção (R\$ ha⁻¹);

n = Número total de ciclos; e,

j = ciclo em que a receita ou o custo ocorrem.

Nos cálculos efetuados foi considerado apenas um ciclo de produção, portanto, n = j = 1.

A TIR foi utilizada para comparar as diferentes combinações entre tratamentos, uma vez que quanto maior for essa taxa, mais rentável e eficiente foi o sistema utilizado.

2.10. Análise dos dados

Os dados referentes aos custos das operações mecanizadas foram submetidos a análise de variância. Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo foi aplicada análise de regressão, sendo os modelos selecionados com base no comportamento do fenômeno, no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Os indicadores econômicos receita bruta, receita líquida, taxa interna de retorno e o custo unitário de produção foram utilizados para avaliar a eficiência econômica do cultivo em função dos tratamentos avaliados.

As análises foram realizadas utilizando o programa computacional R (R CORE TEAM, 2017).

3. Resultados e discussão

3.1. Custo das operações mecanizadas

Os dados de custos das operações mecanizadas (preparo do solo e semeadura da cultura) não foram significativamente afetados pela interação entre os teores de água e sistemas de preparo do solo.

Quando analisados os efeitos simples dos tratamentos, observou-se que apenas os sistemas de preparo influenciaram o custo total das operações mecanizadas, bem como as parcelas que o constituem.

3.1.1. Custos fixos

Os valores médios do custo fixo total e de seus componentes determinados para os sistemas de preparo do solo são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Custos fixos das operações mecanizadas utilizadas na implantação da cultura da cebola

Sistemas de preparo	Depreciação (R\$ ha⁻¹)	Juros (R\$ ha⁻¹)	Abrigo e Seguros (R\$ ha⁻¹)	Custo fixo (R\$ ha⁻¹)
P1	785,90 a	546,53 a	123,25 a	1.455,68 a
P2	640,65 b	468,82 b	105,16 b	1.214,63 b
P3	629,05 b	462,87 b	103,71 b	1.195,64 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O sistema de preparo do solo P1, composto por uma operação de aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento, seguidas da semeadura da cultura, foi o que apresentou maior custo de depreciação, juros, abrigo e seguros, e conseqüentemente, maior custo fixo total (Tabela 11).

Como estes custos estão diretamente relacionados ao valor inicial investido na aquisição das máquinas e independem da quantidade de uso, supõe-se que o sistema de preparo P1 apresentou custo fixo superior por ser aquele no qual se utilizam maior número de conjuntos mecanizados e operações.

Os sistemas de preparo P2 (duas gradagens, uma operação de encanteiramento e semeadura) e P3 (uma gradagem e uma operação de encanteiramento, seguida da semeadura) apresentaram custo fixo inferior ao P1 e não diferiram significativamente entre si. O sistema P3 apresentou um custo fixo total 17,86% menor que o P1, enquanto a redução proporcionada pelo P2 foi de 16,56%. Nos três sistemas de preparo a depreciação foi responsável pela maior parcela do custo fixo, contribuindo com 53,99%, 52,74% e 52,61% deste custo, respectivamente em P1, P2 e P3 (Tabela 11).

3.1.2. Custos variáveis

Os valores médios do custo variável total e de seus componentes para os diferentes sistemas de preparo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Custos variáveis das operações mecanizadas utilizadas na implantação da cultura da cebola

P	Reparos e manutenção (R\$ ha ⁻¹)	Combustível (R\$ ha ⁻¹)	Lubrificantes (R\$ ha ⁻¹)	Mão de obra (R\$ ha ⁻¹)	Custo variável (R\$ ha ⁻¹)
P1	705,16 a	1.424,32 a	171,62 a	269,66 a	2.570,76 a
P2	511,26 b	1.063,87 b	112,45 b	176,69 b	1.864,27 b
P3	499,40 c	1.059,96 b	107,51 c	168,92 c	1.835,80 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O sistema de preparo composto por apenas uma operação de gradagem e uma operação de encanteiramento (P3) seguidas da semeadura, foi o que apresentou o menor custo com reparos e manutenção, lubrificantes e mão de obra por hectare cultivado de cebola (Tabela 12).

A redução do número de operações realizadas no preparo do solo proporcionou uma diminuição do custo com combustível de 25,31 e 25,58% quando utilizados os sistemas de preparo P2 e P3, se comparados ao sistema P1. O gasto com combustível é o que mais onera o produtor do ponto de vista das operações mecanizadas, sendo superior as demais parcelas do custo, independentemente do sistema de preparo (Tabelas 10 e 11).

Assim como o custo fixo, o custo variável total das operações mecanizadas foi superior para o sistema com maior número de conjuntos

mecanizados e operações, já que quanto maior a quantidade de operações realizadas, maiores serão o consumo de combustível, o custo com reparos, lubrificantes e o tempo de trabalho do tratorista.

3.1.3. Custo total das operações mecanizadas

O custo total das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola não sofreu influência significativa dos teores de água do solo nem da interação destes com os sistemas de preparo.

A realização de uma operação de aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento, seguidas da semeadura (P1), resulta em um custo de R\$ 4.026,44 para a implantação de um hectare de cebola (Tabela 13).

Tabela 13. Custo total das operações mecanizadas utilizadas na implantação da cultura da cebola

Sistemas de preparo	Custo total das operações mecanizadas (R\$ ha ⁻¹)
P1	4.026,44 a
P2	3.078,90 b
P3	3.031,43 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A não realização da aração e de uma das operações de encanteiramento (sistema P2), proporcionou uma economia de R\$ 947,54 por hectare implantado, ou seja, reduziu em 23,53% os gastos ocasionados pelo uso dos conjuntos mecanizados no preparo do solo e na semeadura. Quando realizadas apenas uma gradagem e um encanteiramento, seguido da semeadura, a economia proporcionada em relação ao sistema de preparo P1 foi de 24,71% (R\$ 995,01 ha⁻¹).

Levando-se em conta apenas o custo das operações mecanizadas, é possível afirmar que o sistema de preparo com menor número de operações é o mais indicado para que seja obtida uma redução nos custos de produção da cultura da cebola.

Independentemente do sistema usado no preparo do solo, o gasto com combustível foi a parcela de custos que mais contribuiu com o custo total (Figura 2), sendo seguida pela depreciação, custo com reparos e manutenção

e juros sobre o capital investido. Em todos os casos as parcelas referentes aos custos com abrigos e seguros, lubrificantes e mão de obra do tratorista tiveram menor importância na composição dos custos totais.

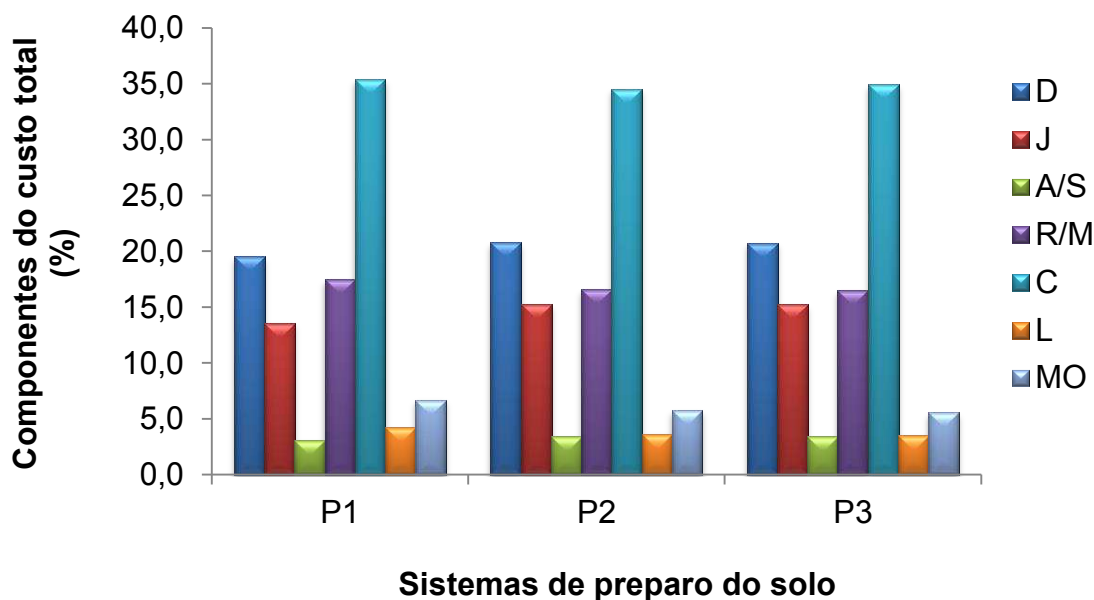


Figura 2. Distribuição do custo total das operações mecanizadas para implantação da cultura da cebola de acordo com o sistema de preparo do solo adotado. (D: Depreciação dos conjuntos mecanizados (%); Juros sobre o capital investido (%); A/S: Custo de abrigos e seguros (%); R/M: Custo de reparo e manutenção (%); C: Custo com combustível (%); L: Custo de lubrificantes (%); MO: Custo da mão de obra do tratorista (%)).

Os resultados apresentados neste trabalho são condizentes com os obtidos por Šarauski et al. (2014) em uma avaliação econômica das operações mecanizadas necessárias ao cultivo de milho. Estes autores observaram que a utilização de sistemas de preparo reduzido do solo possibilita reduzir o custo com essas operações, por requererem menor número de máquinas, tempo de trabalho, e menor consumo de combustível, contribuindo para a redução do custo total da produção agrícola.

3.2. Custo do sistema de irrigação

O custo total anual do sistema de irrigação e seus componentes, determinados para as condições utilizadas no experimento, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Custo total anual do sistema de irrigação por gotejamento utilizado no experimento e seus componentes

Componentes	Custo (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)
Custos fixos	
Depreciação	6.220,11
Custo de oportunidade	1.851,65
Total	8.071,77
Custos Variáveis	
Manutenção	2.769,37
Água de irrigação	59,84
Mão de obra do irrigante	4.764,79
Combustível (gasolina)	9.153,00
Total	16.747,00
Custo total do sistema de irrigação	24.818,77

Uma vez que o mesmo manejo de irrigação foi adotado para todas as unidades experimentais, não houve variação para esta parcela do custo total de produção entre as combinações de tratamentos estudadas. Portanto, para a composição dos custos de produção da cultura da cebola foi utilizado o custo total do sistema de irrigação, no valor de R\$ 24.818,77 ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 14). Cabe ressaltar que este custo pode variar em função da eficiência do sistema instalado, dos componentes e materiais utilizados, e do grau de automação.

3.3. Custo dos insumos

Os custos com insumos (Tabela 15) corresponderam às despesas com fertilizantes, defensivos, sementes e embalagens para acondicionamento da cebola. Com exceção das embalagens, os insumos foram utilizados em

quantidades iguais em todos os tratamentos, não havendo, portanto, variação no seu custo.

Tabela 15. Custo dos insumos utilizados na produção de cebola

Tratamentos		Custo dos insumos utilizados (R\$ ha ⁻¹)				
θ (%)	P	Fertilizantes	Defensivos	Sementes	Embalagens	Total
12	P1	3.416,97	856,76	16.784,23	2.774,00	23.831,96
12	P2	3.416,97	856,76	16.784,23	2.858,91	23.916,87
12	P3	3.416,97	856,76	16.784,23	3.277,20	24.335,17
15	P1	3.416,97	856,76	16.784,23	3.872,44	24.930,40
15	P2	3.416,97	856,76	16.784,23	3.703,22	24.761,18
15	P3	3.416,97	856,76	16.784,23	3.531,62	24.589,59
23	P1	3.416,97	856,76	16.784,23	3.064,54	24.122,50
23	P2	3.416,97	856,76	16.784,23	3.136,19	24.194,15
23	P3	3.416,97	856,76	16.784,23	3.965,06	25.023,03
26	P1	3.416,97	856,76	16.784,23	3.518,56	24.576,53
26	P2	3.416,97	856,76	16.784,23	3.194,97	24.252,93
26	P3	3.416,97	856,76	16.784,23	3.346,97	24.404,93

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

As sementes foram responsáveis pela maior parte do custo total dos insumos, correspondendo em média a 69,0% dos mesmos. Já os custos com fertilizantes, defensivos e sacaria corresponderam a 14,0%; 4,0% e 14,0%, respectivamente (Tabela 15).

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Araújo e Correia (2010) que ao analisarem os custos de produção e a rentabilidade da exploração da cebola na região do Submédio São Francisco, observaram que entre os insumos, a sacaria e as sementes foram os itens mais onerosos, respondendo respectivamente por 20% e 15% desse custo.

3.4. Custo das operações manuais

As operações manuais realizadas foram a aplicação de defensivos agrícolas, a retirada de plantas daninhas e a colheita dos bulbos produzidos.

Apenas o custo da colheita sofreu variação entre os tratamentos avaliados, uma vez que foi determinado em função da produtividade comercial de cada unidade experimental (Tabela 16).

Tabela 16. Custo das operações manuais realizadas durante o experimento

Tratamentos		Custo das operações manuais (R\$ ha ⁻¹)			
θ (%)	P	Aplicação de defensivos	Retirada de plantas daninhas	Colheita	Total
12	P1	5.241,28	13.500,00	8.760,00	27.501,28
12	P2	5.241,28	13.500,00	9.028,12	27.769,40
12	P3	5.241,28	13.500,00	10.349,06	29.090,34
15	P1	5.241,28	13.500,00	12.228,75	30.970,03
15	P2	5.241,28	13.500,00	11.694,37	30.435,65
15	P3	5.241,28	13.500,00	11.152,50	29.893,78
23	P1	5.241,28	13.500,00	9.677,50	28.418,78
23	P2	5.241,28	13.500,00	9.903,75	28,645,03
23	P3	5.241,28	13.500,00	12.521,25	31.262,53
26	P1	5.241,28	13.500,00	11.111,25	29.852,53
26	P2	5.241,28	13.500,00	10.089,37	28.830,65
26	P3	5.241,28	13.500,00	10.569,37	29.310,65

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

A retirada manual das plantas daninhas foi a operação que ocasionou maior custo entre as operações manuais (46,03%), sendo seguida da colheita que representou 36,11% desse custo (Tabela 16). Isso ocorreu, por que ao contrário da operação de aplicação de defensivos, o cultivo manual, a colheita e limpeza dos bulbos são operações minuciosas que demandam grande quantidade de mão de obra e tempo de trabalho, resultando em custo elevado.

O custo com a eliminação de plantas daninhas pode ser reduzido pelo produtor quando o controle efetuado com a aplicação de herbicidas é totalmente eficaz, não sendo necessária nenhuma capina manual. Apesar de nesse caso poder ocorrer um aumento no custo com a aplicação dos herbicidas, estas despesas certamente serão inferiores a da operação de

capina manual, conforme pode ser constatado a partir dos valores de custo relacionados à aplicação de defensivos apresentados nas Tabelas 15 e 16.

A redução do custo com a mão de obra para a colheita, no entanto, é mais difícil de ser conseguida, já que este custo está diretamente relacionado à produção alcançada pelo cebolicultor. Uma alternativa seria a mecanização da operação que possibilitaria diminuir a mão de obra e o tempo necessário para a colheita e, conseqüentemente, o seu custo. Entretanto, ainda que existam máquinas arrancadoras e recolhedoras disponíveis no mercado para a cultura da cebola, a colheita no Brasil é uma operação realizada quase que em sua totalidade de forma manual.

Esse cenário é passível de mudança principalmente devido à dificuldade crescente em se conseguir mão de obra e ao custo significativo da mesma, fatores que tendem a fazer com que os produtores procurem novas soluções para a execução da colheita, de forma semelhante ao que vem acontecendo na região do Vale do São Francisco para a operação de plantio, a qual tem passado pelo processo de substituição da implantação da cultura através do plantio em sementeira e posterior transplantio manual, pela semeadura mecanizada da cebola em área definitiva.

3.5. Custo de produção

O custo de produção de um hectare de cebola (Figura 3) foi determinado como sendo o somatório das despesas com as operações mecanizadas, irrigação da cultura, insumos utilizados e operações manuais.

A implantação da cultura utilizando-se o sistema de preparo P1, com uma aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento, seguidas da semeadura, combinado ao teor de água de 15% (T2), resultou no maior valor de custo de produção (R\$ 84.738,64 ha⁻¹). Já o menor custo (R\$ 79.535,85 ha⁻¹) foi alcançado quando o teor de água de 12% (T1) foi combinado ao sistema de preparo P2 (duas gradagens e uma operação de encanteiramento) (Figura 3).

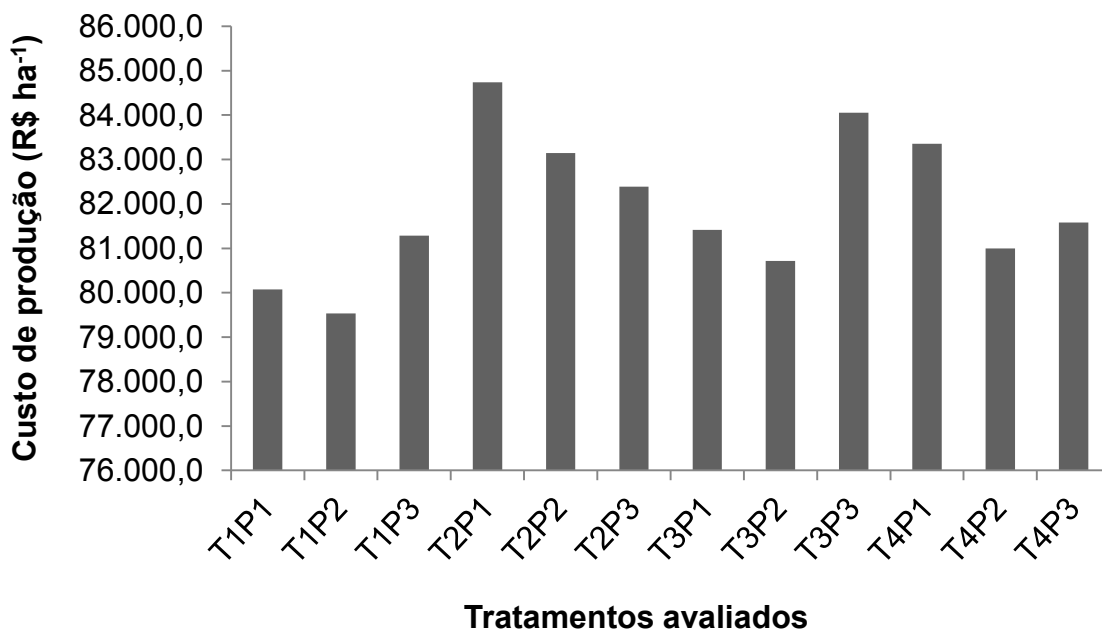


Figura 3. Custo de produção de um hectare de cebola de acordo com teor de água e sistema de preparo do solo adotado. (T1, T2, T3 e T4: teores iniciais de água do solo – 12, 15, 23 e 26% respectivamente; P1, P2 e P3: sistemas de preparo descritos na Tabela 1).

As variações observadas nos valores dos custos são ocasionadas pelas despesas com as operações mecanizadas, despesas com a colheita e com os sacos para acondicionamento dos bulbos, uma vez que as demais componentes do custo de produção foram constantes em todos os tratamentos.

Para melhor entendimento de como os tratamentos estudados afetaram os custos do cultivo da cebola, foi determinado seu custo unitário de produção, ou seja, o custo para produzir uma tonelada da hortaliça (Tabela 17).

O maior custo foi obtido para a implantação da cultura feita com o solo no menor teor de água avaliado (12%) e com maior número de mobilizações (P1). Por sua vez, os tratamentos que produziram as toneladas de cebola mais baratas foram aqueles em que os teores intermediários de água no solo (15 e 23%) foram combinados com os sistemas de preparo P1 e P3, resultando em custos de R\$ 1.054,60 t⁻¹ e R\$ 1.014,73 t⁻¹ (Tabela 17).

Quando o solo foi preparado para o plantio realizando-se apenas uma gradagem e uma operação de encanteiramento (P3), o custo de produção de uma tonelada de bulbos foi 5,81% menor que no sistema P1 e 7,96% menor que no P2, nos quais foram realizadas mais operações de preparo (Tabela 17).

Tabela 17. Custo de produção de uma tonelada de cebola

Custo unitário de produção (R\$ t⁻¹)					
Sistemas de preparo	Teor de água do solo (%)				Média
	12	15	23	26	
P1	1.417,83	1.054,60	1.295,00	1.132,14	1.224,89
P2	1.354,59	1.094,35	1.268,16	1.297,32	1.253,60
P3	1.250,13	1.143,94	1.014,73	1.206,22	1.153,75
Média	1.340,85	1.097,63	1.192,63	1.211,89	

O custo com as operações mecanizadas representou a menor parcela dos custos de produção (4%) (Figura 4), provavelmente sendo esta a razão da pouca atenção dada ao desenvolvimento de trabalhos que envolvam a mecanização da cultura quando comparado ao estudo de novas variedades ou aos que visam a otimização da irrigação.

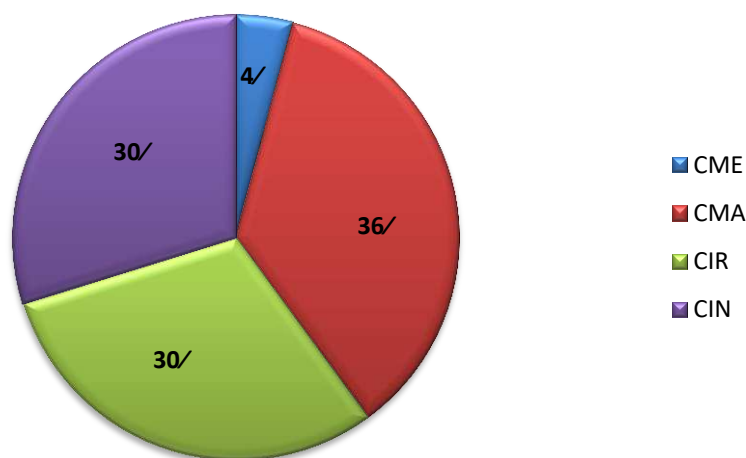


Figura 4. Distribuição dos componentes do custo de produção da cultura da cebola nas condições em que o experimento foi realizado. CME: Custo total das operações mecanizadas; CMA: custo total das operações manuais; CIR: Custo do sistema de irrigação; e CIN: Custo dos insumos.

O custo com as operações manuais correspondeu a 36% do custo total, dos quais 16% foram referentes à retirada de plantas daninhas, 6% à mão de obra para aplicação de defensivos e 13% à mão de obra para colheita (Figura 4). Esses resultados corroboram com os apresentados por Costa e Resende

(2007), os quais indicaram que as operações realizadas de forma manual, incluindo a colheita e a aplicação de defensivos, corresponderam a 46% dos custos operacionais totais de produção e beneficiamento da cebola na região do Submédio São Francisco.

O custo com a aquisição, instalação e uso do sistema de irrigação; e o custo com insumos, corresponderam, cada um, à 30% do custo total de produção. Entre os insumos utilizados a semente foi o que ocasionou maior despesa (20,5% do custo total de produção), seguido dos fertilizantes (4,2%), das embalagens (4,1%) e dos defensivos agrícolas (1,0%). Cabe destacar que o custo com sementes pode variar a depender da variedade de cebola utilizada, da densidade de plantio, das condições de manutenção e regulagem da semeadora e das condições em que é realizada a operação.

3.6. Indicadores de eficiência econômica: receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno.

Os valores da receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno utilizados para avaliar a eficiência econômica dos tratamentos estudados são apresentados na Tabela 18.

O maior valor de receita bruta ocorreu quando foi utilizado o sistema de preparo com menor número de operações (P3) (R\$ 99.126,56 ha⁻¹) no solo com teor de água de 23%, enquanto o menor valor ocorreu para a utilização do sistema de preparo P1 e do teor de umidade mais baixo (12%) (R\$ 69.350,00 ha⁻¹) (Tabela 18).

De acordo com os valores de receita líquida e da taxa interna de retorno, o melhor tratamento foi aquele em que o plantio da cebola foi feito na condição de solo com 23% de teor de água, preparado por meio de uma operação de gradagem e uma operação de encanteiramento (P3), a partir do qual se obteve uma receita líquida de R\$ 15.073,82 por hectare e uma TIR de 17,74% (Tabela 18). Esse resultado é justificado pelo valor da produtividade comercial dessa combinação de tratamentos (83,47 t ha⁻¹) (Tabela 14; Cap. II), e também pelo seu menor custo unitário de produção o qual foi de R\$ 1.014,73 t⁻¹ (Tabela 16).

Tabela 18. Indicadores de eficiência econômica para o cultivo da cebola em função dos tratamentos estudados

Indicadores de eficiência econômica*				
θ (%)	P	Receita bruta (R\$ ha⁻¹)	Receita líquida (R\$ ha⁻¹)	Taxa interna de retorno (%)
12	P1	69.350,00	-10.723,42	-13,77
12	P2	71.472,66	-8.063,20	-10,45
12	P3	81.930,08	641,80	-0,18
15	P1	96.810,94	12.072,30	13,93
15	P2	92.580,47	9.435,39	10,86
15	P3	88.290,62	5.901,59	6,54
23	P1	76.613,54	-4.802,94	-6,31
23	P2	78.404,69	-2.314,27	-3,34
23	P3	99.126,56	15.073,82	17,74
26	P1	87.964,06	4.607,79	5,43
26	P2	79.874,22	-1.122,45	-2,33
26	P3	83.674,22	2.093,46	1,98

*: indicadores obtidos com base no preço médio da cebola em outubro de 2017; θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Os menores valores de receita líquida e TIR ocorreram nos sistemas de preparo P1 e P2 quando aplicados em conjunto com o menor teor de água do solo (12%), situações nas quais a receita bruta não foi suficiente para cobrir os custos de produção, trazendo prejuízo ao produtor (Tabela 18).

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios da receita líquida e da taxa interna de retorno em função dos teores iniciais de água e dos sistemas de preparo. A condição de solo mais seco (teor de água igual a 12%) foi aquela em que se obteve a menor receita líquida e taxa de retorno, sendo, portanto, a menos adequada para o plantio da cultura. Dentro do intervalo estudado, os teores de água intermediários se mostraram mais adequados ao cultivo.

Maior eficiência econômica foi alcançada quando o solo foi preparado por meio de uma operação de gradagem e uma operação de encanteiramento (sistema P3), conforme dados apresentados na Tabela 19, evidenciando que a obtenção de um bom desempenho no cultivo da cebola não está

necessariamente atrelada à realização de um grande número de operações de preparo.

Tabela 19. Receita líquida e taxa interna de retorno nos diferentes teores de água e sistemas de preparo do solo*

Índices	Teores iniciais de água no solo (%)			
	12	15	23	26
Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	-6.048,27	9.136,43	2.652,20	1.859,60
Taxa interna de retorno (%)	-8,13	10,44	2,69	1,69

Índices	Sistemas de preparo do solo		
	P1	P2	P3
Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	288,43	-516,13	5927,67
Taxa interna de retorno (%)	-0,18	1,32	6,52

De acordo com Araújo et al. (2001) o conhecimento do comportamento dos preços da cebola ao longo do ano é um dos aspectos mais importantes para a obtenção de uma adequada rentabilidade econômica.

Lima et al. (2013) fizeram um estudo da sazonalidade dos preços da cebola praticados no Mercado do Produtor de Juazeiro, Bahia, para o período de 2005 à 2012, e concluíram que a média mensal da cotação da cebola foi de R\$ 21,77 (saca de 20 kg), sendo esta comercializada com preços acima da média nos meses do primeiro semestre do ano e abaixo da média nos meses do segundo semestre.

Para evidenciar a necessidade de planejamento da época de cultivo e do controle dos custos de produção, são apresentados a seguir os valores dos índices receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno, supondo que a venda da cebola produzida tivesse sido realizada no mês de abril de 2018 (Tabela 20).

Tabela 20. Indicadores de eficiência econômica para o cultivo da cebola determinados para a situação em que a venda ocorre no 1º semestre do ano em função dos tratamentos estudados

Indicadores de eficiência econômica (Abril/2018)				
θ (%)	P	Receita bruta (R\$ ha⁻¹)	Receita líquida (R\$ ha⁻¹)	Taxa interna de retorno (%)
12	P1	119.720,00	39.646,58	48,87
12	P2	123.384,40	43.848,52	54,59
12	P3	141.437,20	60.148,91	72,32
15	P1	167.126,20	82.387,61	96,67
15	P2	159.823,10	76.678,05	91,37
15	P3	152.417,50	70.028,47	83,93
23	P1	132.259,20	50.842,68	61,73
23	P2	135.351,20	54.632,29	66,86
23	P3	171.123,80	87.071,01	103,25
26	P1	151.853,80	68.497,48	82,00
26	P2	137.888,10	56.891,46	68,61
26	P3	144.448,10	62.867,37	76,06

θ: teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Na época em que foi realizada a colheita (outubro de 2017) o preço pago ao produtor por uma tonelada de cebola era de R\$ 1.875,50, enquanto seis meses depois (abril de 2018), o valor da tonelada de passou a ser de R\$ 2.050,00. A taxa interna de retorno referente a outubro de 2017 foi de 1,67% (valor médio referente a todas as unidades experimentais), enquanto para abril de 2018, foi de 75,52%. Ou seja, se o mesmo investimento houvesse sido feito no primeiro semestre, as receitas obtidas independentemente dos tratamentos utilizados, seriam suficientes para cobrir o custo total de produção e fornecer lucro ao produtor.

Obviamente, a utilização do sistema de preparo P3 combinado ao teor de água do solo de 23% continuaria conduzindo a uma maior rentabilidade financeira, resultando em uma receita líquida de R\$ 87.071,01 e uma TIR de 103,25% para cada hectare cultivado.

A diferença entre os rendimentos para as duas épocas de venda está de acordo com padrão sazonal de preços levantado por Lima et al. (2013) e apresentado na Figura 5, segundo o qual o preço médio da cebola em Juazeiro

(BA) cai a partir do segundo semestre, principalmente para os meses de setembro, outubro e novembro, podendo ficar até 6,13% abaixo da média.

Segundo Araújo et al. (2001) a queda dos preços no segundo semestre do ano está associada a coincidência com o pico da safra da cebola produzida no estado de São Paulo, o que inviabiliza o envio da cebola para esse mercado e aumenta a disponibilidade do produto na região, levando conseqüentemente à queda de preços; e também a fácil penetração da produção de São Paulo nas principais cidades das regiões Norte e Nordeste.

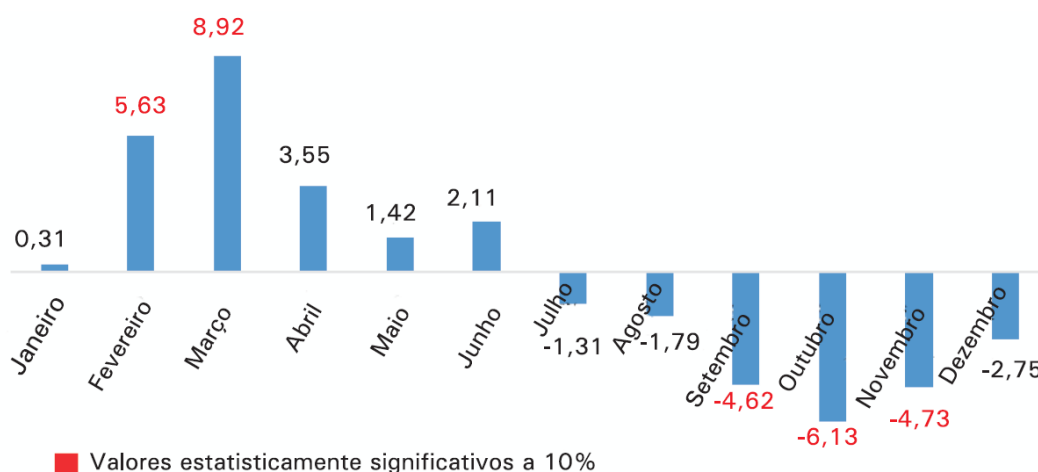


Figura 5. Padrão sazonal do preço da cebola comercializada no Mercado do Produtor de Juazeiro entre janeiro de 2005 a março de 2013 (saca de 20 kg) (LIMA et al., 2013).

Os resultados apresentados neste trabalho, assim como os apresentados por Lima et al. (2013) e Araújo et al. (2001), deixam claro o alto risco envolvido na produção de cebola, e as necessidades de se planejar o plantio de forma que o produto esteja pronto para ser comercializado nas épocas de maior preço, além de se reduzir os custos de produção. Considerando que a região apresenta a vantagem de poder ofertar cebola durante todos os meses do ano devido às condições climáticas favoráveis, a execução do planejamento citado é bastante viável.

A consolidação da cadeia local de produção de cebola requer, portanto, uma maior tecnificação por parte dos produtores e o investimento em pesquisas e programas voltados à melhoria dos métodos de cultivo, no sentido de otimizar as etapas de preparo do solo e plantio, e reduzir o custo com mão de obra.

4. Conclusões

O sistema de preparo composto por uma operação de aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento é o menos adequado, do ponto de vista econômico, para a implantação da cultura da cebola, uma vez que eleva o custo com as operações mecanizadas e, conseqüentemente, o custo de produção.

O custo do combustível é a componente que mais contribui para o custo total das operações mecanizadas independentemente do teor de água e do sistema de preparo do solo utilizado.

A utilização do sistema de preparo composto por apenas uma gradagem e uma operação de encanteiramento, seguidas da semeadura, em conjunto com um teor de água do solo de 23%, minimiza o custo unitário de produção da cebola e maximiza a receita bruta, a receita líquida e a taxa interna de retorno do cultivo, sendo esta a combinação entre os tratamentos mais indicada do ponto de vista econômico para a implantação da cultura.

As operações manuais são responsáveis pela maior parcela do custo de produção da cebola, enquanto as operações mecanizadas contribuem com 4% do custo total. A adoção de técnicas de manejo adequadas e a mecanização da operação de colheita são alternativas a serem estudadas para possibilitar a redução do custo com operações manuais.

5. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Relatório de defesa da concorrência. Sistema de Levantamento de Preços – SLP**. 2018. Disponível em:<http://anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp>. Acesso em: 12 abr. 2018.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**: ASAE EP496.3. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011a.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**: ASAE D497.7. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011b.

ARAÚJO, J. L. P.; CORREIA, R. C. Análise dos custos de produção e da rentabilidade do sistema típico de produção da cebola na região do Submédio São Francisco. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, VIII, 2010. **Anais...** São Luís – MA, 2010.

ARAÚJO, J. L. P.; CORREIA, R. C.; MANGABEIRA, M. O. **Comportamento de preços da cebola na região do Submédio São Francisco**. Comunicado Técnico 99, 1. Ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001.

ARAÚJO, J. L. P.; LIMA, J. R. F.; CORREIA, R. C.; YURI, J. E. Avaliação dos custos de produção e viabilidade econômica da cebola no Vale do Submédio São Francisco, em 2010. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 51, 2011. Viçosa – MG. **Anais...** Viçosa: ABH, 2011.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. Piracicaba, 2004. 302 p.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Sistema Gerenciador de Séries Temporais – v2.1. 2018. Disponível em:<<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/loca>>

lizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>. Acesso em: 14 abr. 2018.

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N., Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n.3, p.755-763, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Programa Brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro – Prohort: Média mensal dos preços**. 2018. Disponível em:< <http://www3.ceasa.gov.br/prohortweb/>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 225 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 2006. 306p.

HIRAKURI, M. H. DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. **Sistemas e Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Documentos 335, 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2012.

LIMA, J. R. F.; RESENDE, G. M.; PEREIRA, A. F. C. **Comercialização e análise do preço da cebola no Mercado do Produtor, Juazeiro, BA**. Comunicado Técnico 157. 1. Ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Circular Técnica 98, 2. Ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. 297 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018**. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-agricola-e-ecuario/arquivos-pap/folder-pap-2017-18>> Acesso em: 21 fev. 2018.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Portaria nº 277, de 31 de maio de 2017**. Disponível em: <http://www.lex.com.br/legis_27433948>. Acesso em: 17 abr. 2017.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p.

PAINTER, K. **Costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest: 2011**. Pacific Northwest Extension Publication, University of Idaho, 2011. p.106.

PAIVA, J. L.; ANTUNIS, G. J.; BARROS, D. S.; SILVA, F. P. C. **Convenção Coletiva de Trabalho 2017/2017**. Petrolina: Sindicato Rural de Petrolina, 2017. Disponível em:<<http://www3.mte.gov.br/sistemas/mediador/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ŠARAUSKIS, E.; BURAGIENÉ, S.; MASILIONYTÉ, L.; ROMANECKAS, K.; AVIŽIENYTÉ, D.; SAKALAUŠKAS, A. Energy balance, cost and CO₂ analysis of tillage Technologies in maize cultivation. **Energy**, v. 69, p. 227-235, 2014.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 178 p.

SILVA, T. P.; SOBRINHO, M. J. V. M. Análise da viabilidade econômico-financeira da cultura da cebola amarela no município de Sento Sé – BA, um

estudo de caso, no ano de 2012. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - VIII SOBER Nordeste, 2013. **Anais...** Parnaíba – PI. 2013.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de Economia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

CONCLUSÃO GERAL

Considerando a análise de demanda energética das operações mecanizadas realizadas, a resposta da cultura em relação aos tratamentos estudados e os resultados obtidos para a análise econômica, concluiu-se que o sistema de preparo do solo P3, composto por uma operação de gradagem e uma operação de encanteiramento, seguidas da semeadura, foi o mais adequado à implantação da cultura da cebola.

Concluiu-se ainda que a elevação do teor de água do solo para níveis entre 15 e 23% favoreceu o desenvolvimento inicial da planta, a obtenção de alta produtividade total e a redução do custo de produção.

Sugere-se que trabalhos futuros avaliem os efeitos da redução do número de operações de preparo no cultivo da cebola em solos com outras classificações texturais; a possibilidade de cultivar a cebola sem o levantamento de canteiros, ou seja, em área total, o que poderia proporcionar um melhor aproveitamento das áreas produtivas; e as possibilidades de implantação da colheita mecanizada, sob a hipótese de que a mecanização dessa operação reduziria as dificuldades relativas ao custo e disponibilidade de mão de obra, além de conferir maior agilidade a mesma.

Salienta-se que a consolidação da cadeia produtiva de cebola na região do Vale do São Francisco requer o aumento do nível tecnológico dos cultivos e a profissionalização dos produtores, tornando necessária a realização de mais trabalhos de pesquisa e extensão voltados para a cebolicultura.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados obtidos para parâmetros de desempenho do trator e de demanda energética de acordo com as operações realizadas em cada combinação de tratamentos.

Tabela 1-A. Valores médios da força demandada na barra de tração (kN) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

Tratamentos		Operações realizadas			
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	
12	P1	5,47 ± 0,84	10,84 ± 1,03	11,25 ± 0,73	2,09 ± 0,10
	P2	-	10,05 ± 0,83	10,67 ± 0,50	2,17 ± 0,10
	P3	-	10,43 ± 0,60	-	2,27 ± 0,39
15	P1	6,00 ± 1,17	10,39 ± 0,58	10,38 ± 0,51	2,30 ± 0,32
	P2	-	10,03 ± 0,21	10,22 ± 0,83	2,44 ± 0,25
	P3	-	10,48 ± 0,62	-	2,32 ± 0,20
23	P1	8,12 ± 1,27	11,24 ± 0,62	11,17 ± 0,28	2,46 ± 0,36
	P2	-	10,83 ± 0,94	10,64 ± 0,90	2,59 ± 0,41
	P3	-	11,26 ± 0,21	-	2,43 ± 0,39
26	P1	7,58 ± 1,33	11,80 ± 0,60	10,76 ± 0,62	2,44 ± 0,18
	P2	-	10,87 ± 0,43	11,21 ± 0,89	2,53 ± 0,22
	P3	-	10,91 ± 0,36	-	2,44 ± 0,22

Operações de encanteiramento: 5,44 kN

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Tabela 2-A. Valores médios da potência demandada na barra de tração (kW) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	7,80 ± 1,09	20,14 ± 1,37	21,43 ± 1,52	1,08 ± 0,03	1,12 ± 0,02	0,45 ± 0,02
	P2	-	19,10 ± 1,42	20,14 ± 0,57	1,10 ± 0,32	-	0,47 ± 0,02
	P3	-	19,80 ± 0,92	-	1,10 ± 0,02	-	0,48 ± 0,09
15	P1	8,51 ± 1,60	19,89 ± 1,27	19,69 ± 0,89	1,10 ± 0,02	1,12 ± 0,02	0,49 ± 0,06
	P2	-	19,55 ± 0,51	19,88 ± 1,68	1,10 ± 0,04	-	0,52 ± 0,05
	P3	-	20,28 ± 0,86	-	1,12 ± 0,01	-	0,50 ± 0,04
23	P1	11,41 ± 1,68	21,06 ± 1,23	21,17 ± 0,76	1,11 ± 0,03	1,12 ± 0,01	0,52 ± 0,07
	P2	-	19,81 ± 2,20	20,54 ± 2,26	1,11 ± 0,03	-	0,56 ± 0,08
	P3	-	21,14 ± 1,39	-	1,12 ± 0,02	-	0,52 ± 0,08
26	P1	10,64 ± 1,79	22,26 ± 1,23	20,54 ± 0,92	1,10 ± 0,01	1,11 ± 0,01	0,51 ± 0,03
	P2	-	20,77 ± 2,20	21,27 ± 1,35	1,10 ± 0,04	-	0,54 ± 0,04
	P3	-	20,98 ± 1,39	-	1,11 ± 0,02	-	0,52 ± 0,04

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Tabela 3-A. Valores médios do consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	8,94 ± 0,31	12,70 ± 0,15	14,55 ± 3,69	8,84 ± 1,24	9,34 ± 2,20	19,45 ± 3,79
	P2	-	11,42 ± 1,56	14,65 ± 1,28	9,97 ± 4,61	-	20,42 ± 2,36
	P3	-	12,01 ± 11,78	-	11,80 ± 5,45	-	20,44 ± 0,97
15	P1	8,72 ± 1,17	13,91 ± 2,45	15,10 ± 3,14	8,43 ± 0,68	9,63 ± 1,92	20,40 ± 2,33
	P2	-	13,21 ± 1,84	15,41 ± 2,04	8,90 ± 0,63	-	19,72 ± 2,29
	P3	-	12,27 ± 1,10	-	9,79 ± 2,31	-	20,76 ± 1,65
23	P1	9,97 ± 1,48	13,26 ± 2,53	14,55 ± 1,96	10,24 ± 1,17	8,94 ± 2,12	19,16 ± 0,80
	P2	-	11,36 ± 2,61	16,73 ± 3,97	9,14 ± 1,40	-	18,56 ± 0,46
	P3	-	11,49 ± 1,86	-	9,02 ± 1,95	-	18,49 ± 1,08
26	P1	9,95 ± 1,67	12,72 ± 1,15	14,51 ± 1,50	9,94 ± 0,77	10,00 ± 2,37	18,40 ± 0,87
	P2	-	11,63 ± 3,67	15,94 ± 1,86	9,64 ± 1,91	-	18,78 ± 0,62
	P3	-	11,93 ± 1,60	-	10,56 ± 1,21	-	19,36 ± 2,11

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Tabela 4-A. Valores médios do consumo de combustível por área trabalhada ($L ha^{-1}$) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	20,92 ± 1,17	12,83 ± 0,61	14,32 ± 3,81	85,53 ± 11,19	89,36 ± 20,71	203,52 ± 33,30
	P2	-	11,28 ± 1,60	14,64 ± 1,50	93,55 ± 41,36	-	215,71 ± 21,43
	P3	-	11,76 ± 1,45	-	114,34 ± 49,87	-	219,19 ± 10,72
15	P1	20,87 ± 2,24	13,79 ± 2,81	14,31 ± 2,94	83,74 ± 6,33	93,02 ± 21,45	218,54 ± 23,17
	P2	-	12,13 ± 1,33	14,92 ± 2,45	88,37 ± 3,99	-	220,84 ± 28,62
	P3	-	12,01 ± 0,68	-	93,69 ± 20,95	-	234,37 ± 28,26
23	P1	24,54 ± 3,95	13,99 ± 3,09	14,61 ± 2,23	100,25 ± 13,41	88,17 ± 23,29	207,41 ± 14,54
	P2	-	11,46 ± 2,28	16,43 ± 4,09	91,97 ± 14,68	-	202,53 ± 7,21
	P3	-	11,38 ± 1,42	-	86,22 ± 16,61	-	205,16 ± 9,08
26	P1	24,07 ± 2,42	12,77 ± 1,07	14,16 ± 1,34	97,42 ± 6,60	98,98 ± 25,56	205,84 ± 9,76
	P2	-	11,19 ± 3,24	15,21 ± 1,91	95,42 ± 17,82	-	207,98 ± 11,81
	P3	-	12,03 ± 1,31	-	105,07 ± 13,69	-	213,55 ± 24,59

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Tabela 5-A. Valores médios da demanda total de energia (MJ ha⁻¹) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	742,56 ± 41,71	455,47 ± 21,67	508,41 ± 135,13	3036,200 ± 397,35	3172,28 ± 735,08	1181,93 ± 17,10
	P2	-	400,34 ± 56,66	519,78 ± 53,33	3320,79 ± 1468,24	-	760,89 ± 17,85
	P3	-	417,56 ± 51,43	-	4058,92 ± 1770,37	-	380,80 ± 18,63
15	P1	740,75 ± 79,70	489,44 ± 99,81	508,16 ± 104,54	2972,76 ± 224,58	3302,09 ± 761,38	822,54 ± 18,75
	P2	-	430,57 ± 47,26	529,71 ± 87,14	3136,89 ± 141,75	-	1015,90 ± 21,05
	P3	-	426,40 ± 24,00	-	3325,68 ± 743,84	-	1003,03 ± 20,23
23	P1	871,25 ± 140,14	496,88 ± 109,86	518,68 ± 79,20	3558,68 ± 476,09	3129,83 ± 826,62	516,15 ± 20,45
	P2	-	406,72 ± 80,91	583,30 ± 145,13	3264,64 ± 521,24	-	255,91 ± 21,90
	P3	-	403,82 ± 50,29	-	3060,53 ± 589,82	-	322,37 ± 21,90
26	P1	854,33 ± 86,06	453,25 ± 37,99	502,75 ± 47,76	3458,07 ± 234,31	3481,70 ± 907,19	346,59 ± 20,74
	P2	-	397,40 ± 115,00	539,88 ± 67,92	3387,13 ± 632,60	-	419,08 ± 21,54
	P3	-	426,95 ± 46,42	-	3729,84 ± 486,10	-	872,92 ± 20,72

θ: teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

Tabela 6-A. Valores médios da demanda específica de energia (MJ ha^{-1}) nas operações realizadas em cada combinação de tratamentos, e seus respectivos desvios padrões

		Operações realizadas					
θ (%)	P	Aração	Gradagem		Encanteiramento		Semeadura
			1 ^a	2 ^a	1 ^o	2 ^o	
12	P1	65,64 ± 9,33	73,30 ± 6,63	75,85 ± 6,42	37,76 ± 3,12	38,61 ± 0,69	17,10 ± 1,55
	P2	-	68,04 ± 7,53	72,36 ± 2,70	37,59 ± 1,82	-	17,85 ± 1,59
	P3	-	70,12 ± 6,05	-	38,76 ± 0,83	-	18,63 ± 3,24
15	P1	73,48 ± 13,52	70,51 ± 1,19	67,22 ± 2,03	39,51 ± 0,87	38,72 ± 1,58	18,75 ± 1,67
	P2	-	64,89 ± 3,80	69,08 ± 5,57	39,27 ± 1,04	-	21,05 ± 2,41
	P3	-	71,76 ± 5,90	-	38,78 ± 0,94	-	20,23 ± 2,28
23	P1	100,99 ± 14,99	79,71 ± 4,28	76,41 ± 1,92	39,18 ± 1,21	39,75 ± 1,09	20,45 ± 3,11
	P2	-	72,38 ± 9,58	71,19 ± 6,33	40,23 ± 2,37	-	21,90 ± 3,63
	P3	-	75,75 ± 5,05	-	38,68 ± 0,53	-	20,78 ± 2,90
26	P1	92,68 ± 9,23	80,58 ± 7,08	72,22 ± 2,70	38,98 ± 0,20	39,18 ± 1,35	20,74 ± 1,48
	P2	-	72,53 ± 4,04	73,08 ± 6,16	39,23 ± 2,16	-	21,54 ± 2,43
	P3	-	76,33 ± 2,72	-	39,69 ± 1,63	-	20,72 ± 2,08

θ : teor volumétrico de água no solo; P: sistemas de preparo avaliados.

APÊNDICE B – Resumos das análises de variância

Tabela 1-B. Resumo da análise de variância dos parâmetros utilizados para quantificar a demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função do teor inicial de água e sistema de preparo do solo (Capítulo I)

F. V.	G. L.	Quadrados médios				
		C _a	T _a	D _t	D _e	E _c
Bloco	3	616	4,07	775791	592	0,0794
Teor de água (θ)	3	557 ^{ns}	1,51	702232 ^{ns}	1624**	0,1128 ^{ns}
Erro a	9	1250	0,60	1575318	113	0,0310
Sistemas de preparo (P)	2	67775**	833,06**	85402751**	159802**	3,7623**
$\theta \times P$	6	785 ^{ns}	0,17	989390 ^{ns}	542**	0,0041 ^{ns}
Erro b	24	941	0,28	1185213	86	0,0269
CV (%) de θ		9,61	2,93	9,61	4,81	10,63
CV (%) de P		8,34	2,01	8,34	4,19	9,91

C_a = Consumo de combustível por área trabalhada; T_a = Tempo necessário para realização das operações; D_t = Demanda total de energia; D_e = Demanda específica de energia; E_c = Eficiência de utilização do combustível. **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2-B. Resumo da análise de variância dos resultados do índice de velocidade de emergência (IVE), da distribuição longitudinal das plantas e estande final da cultura (ES) em função do teor inicial de água e sistema de preparo do solo (Capítulo II)

F. V.	G. L.	Quadrados médios				
		IVE	% ED	% EN	% EF	ES
Bloco	3	171,17	461,30	310,200	83,64	3,03E+11
Teor de água (θ)	3	164,75**	217,78 ^{ns}	81,37 ^{ns}	204,56 [°]	3,86E+11*
Erro a	9	20,49	84,12	88,27	55,25	7,97E+10
Sistemas de preparo (P)	2	32,68 [°]	27,80 ^{ns}	39,00 ^{ns}	46,72 ^{ns}	1,32E+11 ^{ns}
θ x P	6	2,24 ^{ns}	56,13 ^{ns}	35,73 ^{ns}	18,21 ^{ns}	8,49E+10 ^{ns}
Erro b	24	9,98	77,10	41,17	24,72	1,18E+11
CV (%) de θ		18,41	23,21	19,65	58,64	14,93
CV (%) de P		12,85	22,22	13,42	39,22	18,20

IVE: Índice de velocidade de emergência; %ED: Porcentagem de espaçamentos duplos; %EN: Porcentagem de espaçamentos normais; %EF: Porcentagem de espaçamentos falhos; ES: Estande final da cultura; **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; °: Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3-B. Resumo da análise de variância dos resultados obtidos para a produtividade total, comercial e por classes de diâmetro transversal da cebola em função do teor inicial de água e sistema de preparo do solo (Capítulo II)

F. V.	G. L.	Quadrados médios								
		PT	PC	PNC	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 3 cheio	Classe 4
Bloco	3	651,56	691,96	27,20	0,0058	51,40	178,37	128,57	66,89	1,08
Teor de água (θ)	3	676,31 °	478,72 ^{ns}	23,22 °	0,0011 ^{ns}	8,48 ^{ns}	63,08 ^{ns}	57,09 ^{ns}	6,94 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Erro a	9	201,97	229,89	7,08	0,0072	20,09	31,75	36,31	11,79	0,16
Sistemas de preparo (P)	2	121,97 ^{ns}	178,35 ^{ns}	35,29 ^{ns}	0,0173*	55,80 ^{ns}	96,35 ^{ns}	80,68 ^{ns}	71,74**	0,09 ^{ns}
θ x P	6	121,47 ^{ns}	164,12 ^{ns}	30,87 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	54,68 ^{ns}	38,30 ^{ns}	69,08 ^{ns}	11,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Erro b	24	146,72	157,67	15,66	0,0031	30,75	53,74	58,49	11,93	0,32
CV (%) de θ		17,50	21,47	25,11	118,41	33,53	10,27	22,99	64,50	265,13
CV (%) de P		14,92	17,78	37,34	77,43	41,49	13,36	29,18	64,89	376,40

PT: Produtividade total; PC: Produtividade comercial; PNC: Produtividade não comercial; **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; °: Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4-B. Resumo da análise de variância dos dados referentes aos componentes do custo fixo das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função do teor inicial de água e sistema de preparo do solo (Capítulo III)

F. V.	G. L.	Quadrados médios			
		D	J	A/S	Custo fixo
Bloco	3	2230	1134	57,35	7814
Teor de água (θ)	3	1527 ^{ns}	867 ^{ns}	43,22 ^{ns}	5638 ^{ns}
Erro a	9	556	316	15,77	2052
Sistemas de preparo (P)	2	122217 ^{**}	34860 ^{**}	1896,99 ^{**}	336236 ^{**}
θ x P	6	180 ^{ns}	113 ^{ns}	5,58 ^{ns}	695 ^{ns}
Erro b	24	311	186	9,21	1174
CV (%) de θ		3,44	3,61	3,59	3,51
CV (%) de P		2,57	2,76	2,74	2,66

D: Depreciação; J: juros; A/S: Abrigos e Seguros; **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; °: Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5-B. Resumo da análise de variância dos dados referentes aos componentes do custo variável e ao custo total das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função do teor inicial de água e sistema de preparo do solo (Capítulo III)

F. V.	G. L.	Quadrados médios					
		C _{rm}	L	M _{OT}	C _{CM}	Custo variável	Custo total
Bloco	3	1722	99,4	245	6364	8202	20205
Teor de água (θ)	3	860 ^{ns}	37,0 ^{ns}	91 ^{ns}	5760 ^{ns}	7716 ^{ns}	20986 ^{ns}
Erro a	9	315	14,7	36	12922	15441	20768
Sistemas de preparo (P)	2	213524 ^{**}	20361,8 ^{**}	50268 ^{**}	700533 ^{**}	2773602 ^{**}	5040297 ^{**}
θ x P	6	86 ^{ns}	4,1 ^{ns}	10 ^{ns}	8116 ^{ns}	9734 ^{ns}	12495 ^{ns}
Erro b	24	155	6,9	17	9722	11271	15525
CV (%) de θ		3,10	2,93	2,93	9,61	5,94	4,26
CV (%) de P		2,78	2,01	2,01	8,34	5,08	3,69

C_{rm}: Custo de reparo e manutenção; L: Custo com lubrificantes; M_{OT}: Custo da mão de obra; C_{CM}: Custo do combustível; **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; °: Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.