

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE- UNICENTRO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL

ENAIALE CAROLINE DE PAULA

**MUDANÇAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS EM DIFERENTES FASES DO  
CULTIVO DA CEBOLA.**

IRATI

2020

ENAIALE CAROLINE DE PAULA

**MUDANÇAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS EM DIFERENTES FASES DO  
CULTIVO DA CEBOLA.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da UNICENTRO.

Orientador: Valdemir Antoneli

Coorientador: João Anésio Bednarz

IRATI

2020

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da Unicentro

P324m Paula, Enaiale Caroline de  
Mudanças hidrogeomorfológicas em diferentes fases do cultivo da  
cebola / Enaiale Caroline de Paula. -- Irati, 2020.  
xii, 81 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de  
concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, 2020.

Orientador: Valdemir Antoneli  
Coorientador: João Anésio Bednarz  
Banca examinadora: Cristiane Alcantara dos Santos, Izabel Passos  
Bonete, Jeanette Beber de Souza (suplente)

Bibliografia

1. Plantio convencional. 2. Atributos físicos. 3. Perda de solo e água. 4.  
Qualidade do solo. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.

CDD 628.4



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO**  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PROPESP  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental  
Associação ampla entre a UNICENTRO e UEPG

## TERMO DE APROVAÇÃO

**Ensaie Caroline de Paula**

**Mudanças hidrogeomorfológicas em diferentes fases do cultivo da cebola**

Dissertação aprovada em 13/10/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

**Dr. Valdemir Antonef**  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca

**Dra. Cristiane Alcantara dos Santos**  
Universidade Federal de São João Del-Rei

**Dra. Isabel Passos Bonete**  
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Irati-PR, 13 de outubro de 2020.

*“Ninguém ignora tudo. Ninguém  
sabe tudo. Todos nós sabemos  
alguma coisa. Todos nós ignoramos  
alguma coisa. Por isso aprendemos  
sempre”.*  
*Paulo Freire*

## AGRADECIMENTOS

À DEUS por me conceder saúde e sabedoria para seguir sempre em frente. Obrigada por ser minha força e meu guia em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Eliane Batista de Souza e José Afonso Pechefist “*In Memoriam*”, pelo apoio e incentivo. Por acreditarem em mim e não medirem esforços para concretização dos meus sonhos. Amor eterno.

A minha amada vó Alzira Batista de Souza “*In Memoriam*” a qual sou grata todos os dias da minha vida por tudo que fez por mim, com certeza me tornei a mulher que sou hoje, graças a senhora.

Ao meu marido Paulo Henrique Cordeiro pelo amor, carinho, respeito e dedicação. Por me apoiar e me dar suporte para não desistir, você fez com que fosse possível meu sonho se tornar realidade. Gratidão por ter você em minha vida, te amo.

Ao meu filho amado, Pedro Henrique Cordeiro, motivação e luz da minha vida. Meu tudo, amor eterno.

A minha sogra Marli Catarina Cordeiro a quem sou grata por todo o cuidado e amor que tem pelo meu filho, sem seu apoio e cuidado com Pedro Henrique nada seria possível. Mulher inteligente, guerreira a qual me espelho.

A minha irmã Elaiane Cristine de Souza Pechefist e a todos os familiares do meu esposo, por todo incentivo e apoio, obrigada por vibrarem com as conquistas da minha família e apoiarem também os momentos difíceis da nossa vida.

A meu orientador professor Dr. Valdemir Antoneli, pela orientação, paciência, empenho, dedicação, sem você não conseguiria trilhar este caminho, muito obrigada por todos os ensinamentos, com certeza levarei para o resto de minha vida esta grandiosa bagagem.

Ao meu coorientador professor Dr. João Anésio Bednarz, muito obrigada por todo conhecimento repassado, sempre muito prestativo nas correções e demais dúvidas que surgiam ao longo da pesquisa, sempre apoiando para que fosse possível o término do trabalho.

A minha professora de estatística Dr<sup>a</sup>. Izabel Passos Bonete por todos os ensinamentos, apoio e dedicação com o trabalho.

A todos os funcionários da UNICENTRO, principalmente a Joelma por toda a atenção prestada durante este período.

Ao proprietário da área da pesquisa Roberto Chasko e família e ao compadre Marcos Falte e família, obrigada pelo apoio prestado.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

Por fim, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a construção e finalização deste trabalho.

## RESUMO

O cultivo da cebola possui importância econômica e social a nível mundial, sendo a terceira olerícola mais cultivada no Brasil, perdendo apenas para a batata e o tomate. Para a produção de cebola é necessário o revolvimento constante do solo, o qual pode levar a sua degradação. Apesar de possuir alta rentabilidade, a produção de cebola sem práticas conservacionistas pode indicar altas taxas de perdas de água e solo. Sendo assim, o estudo da influência do cultivo nas mudanças de alguns processos hidrogeomorfológicos no cultivo da cebola se faz necessário para que práticas conservacionistas dos solos possam ser aplicadas. Esta pesquisa teve como objetivo identificar as mudanças hidrogeomorfológicas em diferentes fases do cultivo da cebola, analisando a dinâmica das variáveis físicas: densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo a penetração, perda de água e solo durante os diferentes estágios de desenvolvimento que compõe o ciclo produtivo da cultura. A pesquisa foi realizada em uma área de 3 hectares no município de Irati- PR. As coletas de solo e as simulações de chuva foram realizadas em 5 etapas, sendo no estágio de germinação (V1), formação de folhas e raízes (V2), bulbificação (V3), estalo (V4) e cura (V5). O sistema de plantio utilizado foi convencional. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial, com três repetições em cada nível de profundidade para o atributo densidade, porosidade, resistência do solo a penetração e estabilidade dos agregados. Partiu-se da hipótese de que a mudança hidrogeomorfológica sofre influência das fases do cultivo da cebola. Para densidade, porosidade, resistência a penetração e estabilidade dos agregados (atributos físicos do solo), e ainda, para perdas de água e solo, houve variações que comprovaram a ocorrência da degradação do solo. Concluiu-se que as fases do cultivo da cebola em sistema de manejo convencional indicaram variação nas condições físicas do solo durante o cultivo, que interferiram diretamente nas perdas de água e solo nas diferentes fases do cultivo.

Palavras chaves: plantio convencional, atributos físicos, perda de solo e água, qualidade do solo.

## **ABSTRACT**

Onion cultivation has economic and social importance worldwide, being the third most cultivated vegetable in Brazil, second only to potatoes and tomatoes. For the production of onion it is necessary to constantly turn the soil, which can lead to its degradation. Despite having high profitability, onion production without conservation practices can indicate high rates of water and soil losses. Thus, the study of the influence of cultivation on changes in some hydrogeomorphological processes in onion cultivation is necessary so that soil conservation practices can be applied. This research aimed to identify the hydrogeomorphological changes in different stages of onion cultivation, analyzing the dynamics of physical variables: density, porosity, stability of aggregates, resistance of soil to penetration, loss of water and soil during the different stages of development that makes up the productive cycle of culture. The research was carried out in an area of 3 hectares in the municipality of Irati- PR. Soil collections and rain simulations were carried out in 5 stages, being in the germination stage (V1), leaf and root formation (V2), bulbification (V3), snap (V4) and cure (V5). The planting system used was conventional. A completely randomized design (DIC) in a factorial scheme was used, with three repetitions at each depth level for the attribute density, porosity, soil resistance to penetration and stability of the aggregates. We started from the hypothesis that the hydrogeomorphological change is influenced by the onion growing phases. For density, porosity, resistance to penetration and stability of aggregates (physical attributes of the soil), and also, for water and soil losses, there were variations that proved the occurrence of soil degradation. It was concluded that the phases of onion cultivation in a conventional management system indicated variation in the physical conditions of the soil during cultivation, which directly interfered in the losses of water and soil in the different phases of cultivation.

Key words: conventional planting, physical attributes, soil and water loss, soil quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudos e uso do solo da propriedade estudada. ..	28
Figura 2. Método de coleta do solo com anel volumétrico. ....	31
Figura 3. Simulação de chuva em cultivo de cebola. ....	35
Figura 4. Características do simulador de chuva instalado em campo durante a simulação ....	36
Figura 5. Calendário agrícola da cultura da cebola. ....	39
Figura 6. Densidade do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola. ....	41
Figura 7. Porosidade do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola. ....	45
Figura 8. Resistência do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola. ....	48
Figura 9. Gráfico de Estabilidade de agregados do solo. ....	51
Figura 10. Simulação de chuva na primeira campanha (V1). ....	53
Figura 11. Simulação de chuva na segunda campanha (V2). ....	55
Figura 12. Simulação de chuva na terceira campanha (V3). ....	55
Figura 13. Simulação de chuva na quarta campanha (V4). ....	57
Figura 14. Simulação de chuva na quinta campanha (V5). ....	58
Figura 15. Estimativa da perda total de solo (g/m <sup>2</sup> /mm) nos diferentes estágios do cultivo da cebola. ....	59
Figura 16. Estimativa da perda total de solo (ton/ha) nos diferentes estágios do cultivo da cebola. ....	60
Figura 17. Estimativa da perda total de água (%) nos diferentes estágios do cultivo da cebola. .....	62

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>P</b>	<b>Fósforo</b>
<b>N</b>	<b>Nitrogênio</b>
<b>Ca</b>	<b>Cálcio</b>
<b>S</b>	<b>Enxofre</b>
<b>K</b>	<b>Potássio</b>
<b>Mg</b>	<b>Magnésio</b>
<b>Fe</b>	<b>Ferro</b>
<b>Mn</b>	<b>Molibdênio</b>
<b>Cu</b>	<b>Cobre</b>
<b>Zn</b>	<b>Zinco</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área Plantada, Quantidade Produzida e Rendimento Médio da cebola em alguns estados do Brasil.....	15
Tabela 2. Média da densidade do solo em cada estágio do cultivo e suas respectivas profundidades. ....	43
Tabela 3. Média da porosidade do solo em cada estágio do cultivo e profundidade. ....	46
Tabela 5. Média da estabilidade dos agregados do solo em cada estágio do cultivo e suas respectivas profundidades.....	51

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Dados de produção da cultura da cebola .....	14
2.2. Características gerais do cultivo da cebola.....	15
2.3. Manejo do solo no cultivo da cebola .....	17
2.4. Qualidade do solo .....	19
2.5. Atributos físicos do solo .....	21
2.5.1. Densidade do solo.....	21
2.5.2. Porosidade .....	22
2.5.3. Estabilidade dos agregados.....	23
2.5.4. Resistência do solo .....	24
2.6. Degradação e erosão do solo .....	25
3. METODOLOGIA.....	28
3.1. Área de estudos.....	28
3.2. Coleta dos dados.....	30
3.3. Densidade do Solo .....	31
3.4. Densidade de Partículas.....	31
3.5. Porosidade .....	32
3.6. Estabilidades de Agregados.....	32
3.7. Resistência do solo .....	34
3.8. Exposição do solo.....	34
3.9. Perda de água e solo no cultivo da cebola .....	35
3.9.1. Características do simulador.....	36
3.10. Calendário das atividades agrícolas desenvolvidas no cultivo da cebola.....	37
3.11. Análise estatística dos dados .....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1. Calendário das atividades agrícolas durante o cultivo da cebola .....	39
4.2. Avaliação dos atributos físicos do solo durante o cultivo da cebola .....	40
4.2.1. Densidade do solo.....	40
4.2.2. Porosidade do solo.....	44
4.2.3. Resistência do solo a penetração .....	46
4.2.4. Estabilidade de agregados .....	49
4.3. Perda de água e solo ao longo do cultivo da cebola .....	53

5. SÍNTESE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES .....	64
6. CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

## 1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cebola (*Allium cepa* L.) possui importância econômica e social a nível mundial, sendo a terceira olerícola mais cultivada no Brasil, perdendo apenas para a batata e o tomate. Essa posição, proporciona ao país o posto de décimo maior produtor, representando 1,3% do total da produção. A região sul do Brasil possui alto potencial produtivo representando 69% da produção do país (IBGE, 2009), ou seja, mais da metade da cebola consumida pelos brasileiros é oriunda dos estados sulistas.

Tais dados revelam a importância da cebolicultura para o crescimento da economia nacional, resultando em outros benefícios indiretos, como geração de empregos, multiplicação de renda e a intensificação do uso de insumos destinados a produção, movimentando o mercado agrícola e expandindo os setores envolvidos no processo produtivo.

A produção de olerícolas demanda da utilização intensa do solo. Portanto, seu potencial de degradação é considerado alto, devido a um revolvimento constante e intenso, resultando em uma situação de perdas superficiais do solo considerável e uma instabilidade nas características físicas e químicas. Este fato ocorre, pelo motivo de que a área de cultivo apresenta alta susceptibilidade ao processo erosivo, devido às práticas de manejo adotadas para a produção da cultura (SANTOS, 2017).

Apesar de possuir alta rentabilidade, a produção de cebola pode ser considerada um desafio no que diz respeito a degradação do solo, principalmente ao processo erosivo, o qual é um dos maiores problemas enfrentados nos ambientes de produção agrícola sem práticas conservacionistas. A agricultura convencional tem levado à degradação do solo levando a diminuição da qualidade física e química do solo, e, conseqüentemente, a redução do seu potencial produtivo.

Dentro deste contexto, o estudo da influência do cultivo nas mudanças de alguns processos hidrogeomorfológicos no cultivo da cebola, se faz necessário para que práticas conservacionistas dos solos possam ser aplicadas. Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa foi identificar as mudanças hidrogeomorfológicas em diferentes fases do cultivo da cebola, analisando a dinâmica de variáveis físicas, durante os diferentes estágios de desenvolvimento que compõe o ciclo produtivo da cultura. Parte-se da hipótese que se há variação nas atividades agrícolas durante as diferentes fases do cultivo da cebola, haverá variação nos processos

hidrogeomorfológicos, os quais culminam com a degradação do solo em cultivo de cebola com plantio convencional.

Os dados obtidos durante o experimento poderão ser utilizados como parâmetro de avaliação do potencial de degradação da cebolicultura para o solo, abrindo caminhos para a adoção de práticas de conservação que garantam a sustentabilidade agrícola e ambiental, propiciando um cenário produtivo que caminha paralelamente com os pilares sustentáveis, atingindo índices produtivos positivos e permanentes.

A pesquisa foi realizada em uma propriedade rural localizada no Município de Irati, PR. Foi utilizada uma área de 3 hectares de cultivo de cebola para a realização desta pesquisa. Foram realizadas 5 campanhas de coletas de dados, seguindo a evolução fenológica da cebola.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Dados de produção da cultura da cebola**

A cebola (*Allium cepa L.*), pertence à família Alliaceae, originária da Ásia Central, dispersando para o Ocidente. Quando o cultivo chegou na Pérsia distribuiu-se pela África e Europa. Os responsáveis pelo surgimento da cebola no continente Americano foram os colonizadores, sendo que no Brasil, o cultivo ocorre desde Pernambuco até o extremo sul do país (MURAYAMA, 1973).

Segundo dados da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) 2017, a produção mundial de cebola em 2017 foi de 97,8 milhões de toneladas, sendo a China (18%) e Índia (11%) os maiores produtores. O Brasil ocupa a décima posição, produzindo em média, 1,28 milhões de toneladas, o que representa cerca de 1,3% do total da produção mundial.

Em território nacional a cebolicultura é produzida principalmente por pequenos agricultores, desempenhando uma importância sócio econômica, pois viabiliza a manutenção das pequenas propriedades e a permanência familiar no âmbito de atividades rurais. Em termos de valor econômico, a hortaliça perde apenas para a batata e tomate (BOEING, 2002).

Ainda em relação a produção nacional, dados apresentados na tabela 1, da safra 2018, demonstram que o estado com maior extensão de plantio é Santa Catarina, com 17.039 ha, sendo o primeiro também em quantidade produzida e oitava em rendimento médio. Em segundo, o estado do Rio Grande do Sul, com área plantada de 6.809 ha, sendo o sexto em quantidade produzida e décimo segundo em rendimento médio. O estado do Paraná é o terceiro estado, com

área plantada de 5.922 ha, sendo o quinto estado com maior produção no país e décimo em rendimento médio.

Tabela 1. Área Plantada, Quantidade Produzida e Rendimento Médio da cebola em alguns estados do Brasil.

Estado	Área Plantada		Quantidade Produzida		Rendimento Médio	
	(ha)	Posição	(t)	Posição	(Kg/ha)	Posição
Santa Catarina	17.039	1	470.849	1	27.634	8
Rio Grande do Sul	6.809	2	138.455	6	20.331	12
Paraná	5.922	3	141.046	5	23.837	10
Bahia	5.494	4	242.789	2	44.192	4
São Paulo	4.567	5	167.348	4	36.643	5

Fonte: IBGE- Produção Agrícola Brasil – 2018.

Nota: Posição referente aos estados do Brasil.

O município de Irati é o segundo maior produtor de cebola do estado do Paraná com área plantada de 500 ha, produção de 15.200 toneladas e rendimento médio de 35.500 kg ha<sup>-1</sup>. O rendimento médio em kg ha<sup>-1</sup> do município é maior que a renda média dos três estados do sul do Brasil, ou seja, as condições edafoclimáticas permitem alta produtividade. O município se destaca por apresentar famílias que consideram a hortaliça como principal cultivo, não sendo comum, pois a maioria das famílias produtoras consideram a cultura como secundária (SEAB/DERAL, 2018).

## 2.2. Características gerais da cultura da cebola

Segundo Bewley e Black (1994), a germinação da cebola é epígea, ou seja, ocorre o desenvolvimento do cotilédone acima da superfície do solo. Os estádios da germinação da semente compreendem em formação da raiz primária, observando-se o desenvolvimento da folha cotiledonar e, em seguida, o desenvolvimento da primeira folha verdadeira originária do ápice caulinar.

A emergência do cotilédone, ocorre em um período de aproximadamente 10 dias. Na maioria das cultivares, este tempo é consideravelmente lento em comparação a outras espécies de hortaliças. Em seguida, há um aceleração do desenvolvimento e formação das folhas e raízes adventícias. O estágio de desenvolvimento do bulbo ocorre, quando o crescimento das

folhas diminui e as bainhas foliares e escamas do bulbo turgescem para desenvolver seu tecido de armazenamento (BREWSTER, 2008).

Morfologicamente, a cebola é uma hortaliça herbácea, as folhas podem ser cerosas ou não, com distribuição alternada (EMBRAPA, 2007). O pseudocaule é uma estrutura firme e se desenvolve na parte superficial do solo, formando as bainhas carnosas foliares, de formato cilíndrico, da qual a superfície concêntrica forma o bulbo (BREWSTER, 2008); o caule localiza-se abaixo do solo, formado por um prato (disco) achatado, desenvolvendo raízes fasciculadas, dado isso ocorre o desenvolvimento das raízes e folhas na base do bulbo (EMBRAPA, 2007).

O escapo floral desta cultura é formado por uma inflorescência esférica do tipo umbela, rodeada por uma película que se rompe previamente à abertura das flores. A flor é endógena e contém três carpelos fundidos em seu pistilo, seis estames e um estilete. O ovário é súpero, contendo três lóculos. Os nectários se situam na base dos estames e o néctar é concentrado entre os estames internos e externos (MALUF, 1999).

No momento que decorre a deiscência, o pistilo exhibe em torno de um centímetro e se torna receptivo quando atinge cinco centímetros de comprimento. As antenas exibem quase todo o pólen, no decorrer de 9-17 horas e 26-36 horas antes que o estigma se torne receptivo, tipificando a dicogamia protândrica. A polinização acontece por vias entomófila (MALUF, 1999).

A cebola é vigorosamente influenciada por condições ambientais, limitando o desenvolvimento das cultivares em determinadas regiões geográficas (MORAIS et al., 2016). O fotoperíodo é o fator limitante na fase da bulbificação; as cultivares são escolhidas conforme a quantidade de luz, assim incentivando a formação de bulbos. Assim, tem-se cultivares de dias curtos, necessitando de 11 a 12 horas de luz dia<sup>-1</sup>; cultivares de dias intermediários necessitando de 12 a 14 horas de luz dia<sup>-1</sup> e cultivares de dias longos necessitando de 14 horas de dia<sup>-1</sup> (SANTOS, 2007). Segundo Manfron et al. (1992), a bulbificação decorre quando a planta passa por períodos de luz igual ou superior ao nível crítico da cultivar.

Na região sul do Brasil, efetua-se a semeadura no período compreendido entre abril e junho e a colheita, de novembro a janeiro. Neste período, a quantidade de horas de luz na região é compatível com exigência intermediária de fotoperíodo. Deste modo, a escolha da cultivar deve ser determinada em função da combinação das exigências fisiológicas e condições ambientais locais (EMBRAPA, 2007).

### 2.3. Manejo do solo no cultivo da cebola

A fertilidade é essencial para produtividade, porém, vale ressaltar que um solo fértil não é sinônimo de produtividade, diversos fatores podem limitar tal relação, como por exemplo, o déficit e/ou excesso hídrico e outros como, escolha do sistema de plantio, tipo de solo, escolhas de cultivares. Essas escolhas podem afetar a produção mesmo que a fertilidade seja ideal (LOPES, 1998).

Torna-se essencial disponibilizar os nutrientes necessários na camada superficial do solo para o cultivo da cebola, devido ao sistema radicular ser pouco ramificado e superficial. Deve-se fornecer os nutrientes em épocas certas e em quantidades corretas, do contrário haverá prejuízo na qualidade do bulbo e no rendimento da hortaliça. As características descritas acima têm consequências específicas quanto a aplicação e o fornecimento de elementos essenciais à cebola (IAC, 2014).

Vidigal et al. (2003) corroboram afirmando que, para o desenvolvimento ideal da cultura, deve-se conhecer a disponibilidade e eficiência de recuperação de cada nutriente incorporado no solo. A introdução deve ser realizada da maneira correta e na quantidade necessária para a planta. A realização deste processo é de grande importância.

Para saber quais os nutrientes e quantidades necessárias a serem aplicadas, se faz necessário coleta do solo de cada área onde a cultura será implantada para em seguida, analisar a capacidade do solo em suprir as necessidades das plantas (FURTINI NETO et al., 2001).

Além de se conhecer a botânica do vegetal, deve-se conhecer também o processo de ação do nutriente na planta, calcular a quantidade de adubação e calagem e também saber identificar sintomas de deficiência de nutriente no vegetal, para então realizar aplicações em momentos corretos e quantidades certas (IAC, 2014).

O rendimento, a sanidade e a qualidade dos bulbos da cebola, são influenciadas diretamente pela quantidade de nutrientes disponíveis no solo (SANTOS, 2007; MAY et al., 2008; VIDIGAL et al., 2010; KURTZ, 2015). Em estudos analisando a dinâmica de absorção dos nutrientes na cultura, em sistemas de transplante de mudas e sistema de semeadura direta, constataram que, em ambos os sistemas, a maior absorção ocorreu da seguinte forma:  $P > N > Ca > S > P > Mg > Fe > Mn > Cu > Zn$  (IAC, 2014).

May et al. (2008) identificaram valores em sistema de plantio direto em duas cultivares diferentes de cebola, em um ciclo de 150 dias. A cebola híbrida *Optima* absorveu do solo os macronutrientes (em kg ha<sup>-1</sup>): N: 79; P: 13; K: 76; Ca: 59; Mg: 12 e S: 24; já a cebola híbrida *Superex*, absorveu os macronutrientes (em kg ha<sup>-1</sup>): N: 65; P: 10; K: 68; Ca: 66; Mg: 13 e S: 25.

É de grande importância realizar estudos da área sobre nutrição mineral da cultura para aperfeiçoar a recomendação e identificar qual o melhor período de aplicação de fertilizantes. Há grande variação na quantidade de nutrientes extraídas pela cebola, pois tal processo é decorrente de vários fatores como: época de plantio, diferentes características climáticas, outras formas de plantio e diferentes formas de absorção de nutrientes conforme escolha da cultivar (IAC, 2014).

Segundo Lopes (1998) a adubação é uma parcela do sistema de produção, onde se deve considerar todos os outros fatores relacionados ao manejo para se obter melhor eficiência econômica, ambiental e social. Por outro lado, o fornecimento suficiente de água é de grande importância para o desenvolvimento e crescimento das plantas, pois a mesma é essencial para a absorção de nutrientes pelos vegetais (KURTZ et al., 2018).

A cultura da cebola preferivelmente se desenvolve em solos de textura média, que apresentam boa drenagem e que tenham altos níveis em termos de matéria orgânica. Ao possuir tais características contribuem para um bom desenvolvimento de raiz e bulbo adequado, sendo que, solos com excessiva porcentagem de argila prejudicam a formação de bulbos podendo causar deformação no mesmo e também, a quantidade excessiva de água (encharcamento) deve ser evitada por propiciar o surgimento de doenças e prejudicar o desenvolvimento fisiológico da planta (EMBRAPA, 2007).

O preparo do solo pode ser realizado de forma convencional e plantio direto. No sistema de plantio convencional (SPC), os produtores revolvem o solo com certa constância, no preparo para plantio, durante o cultivo e depois da colheita. Para as atividades de revolvimento do solo, os agricultores podem usar vários implementos agrícolas como subsolador, escarificador e enxada rotativa (EPAGRI, 2013; LOSS et al., 2015). Contudo, a longo prazo, o uso constante de implementos no preparo do solo pode acarretar a degradação acelerada do solo (REGHIN et al., 2003)

Outro sistema de plantio utilizado para reduzir os impactos ambientais é o sistema de plantio direto (SPD), quando aplicado no cultivo de hortaliças, denomina-se sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), que consiste em plantar sobre a palhada da cultura anterior que estava presente na área. Neste cultivo, remove-se somente a área onde a muda ou semente será depositada e esta operação é realizada com equipamentos agrícolas adaptados para trabalhar somente na linha que será depositado o vegetal ou usando máquinas tradicionais que abram vários sulcos ao mesmo tempo (EPAGRI, 2013).

Segundo Kieling et al. (2009), neste sistema utiliza-se plantas de cobertura solteiras ou consorciadas, dos quais os resíduos são colocados na superfície do solo.

O manejo no sistema de plantio direto no cultivo da cebola é uma das formas mais eficientes para evolução na qualidade e produção do solo. Porém, esta melhoria não se demonstra de forma homogênea em toda área (AMADO et al., 2007). Segundo Amado et al. (2005), em uma área de lavoura é provável se encontrar níveis diferentes de qualidade de solo, podendo indicar diferentes potenciais produtivos, mesmo que as técnicas de manejo sejam aplicadas do mesmo modo.

Em SPDH, a utilização de plantas para cobertura do solo, podem conter quantidades de nutrientes significativas. As mesmas, quando expostas na superfície acabam liberando do tecido morto parte de nutrientes nas camadas superficiais no decorrer do ciclo da outra cultura (PAULETT et al., 2009).

Segundo Camargo (2011), a cultura da cebola por apresentar porte baixo e reduzido número de folhas, para que o SPDH seja iniciado com alta quantidade de palhada é importante a utilização de espécies de plantas de cobertura.

Pelas características da planta da cebola (folhas finas e eretas), que deixa espaços para o desenvolvimento de ervas daninhas em qualquer fase da cultura, ocasiona competição de água e luz. Esta condição pode reduzir a qualidade de bulbos e conseqüentemente diminuir a produção. A erva daninha pode servir também de hospedeiro de pragas que atacam diretamente a cultura da cebola, resultando em maior aplicação de defensivos agrícolas (DEUBER et al., 1983).

Portanto, a forma de manejo do solo, não só no cultivo da cebola, mas em qualquer outra atividade agrícola desempenha papel importante na qualidade do solo e, por conseguinte no aumento da produção. Segundo a Embrapa (2009), o uso do solo de maneira adequada, permite a manutenção da atividade agrícola de forma sustentável, ainda, preservando o ambiente e minimizando a degradação física, química e biológica, assim como, a contaminação do solo e das águas. Na sequência, serão abordados alguns temas referentes a qualidade do solo e seus atributos.

#### **2.4. Qualidade do solo**

Os atributos mais utilizados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade dos agregados (SINGER e EWING, 2000).

Segundo Vezzani (2009) a sustentabilidade na agricultura vem a se consolidar quando um sistema de cultivo atinge índices ideais de produtividade sem afetar os recursos naturais. Sendo assim, qualidade do solo (QS) e sustentabilidade devem caminhar juntas, de modo que o solo consiga desenvolver suas dinâmicas de forma socialmente aceita, economicamente viável e ambientalmente segura.

A qualidade do solo pode sofrer mudanças ao longo do tempo, causada por eventos naturais ou por decorrências antrópicas. Essas mudanças são intensificadas pelas decisões de gerenciamento e uso do solo de forma errônea que acabam sendo tomadas somente o solo como fonte de produção de alimentos (DORAN; ZEISS, 2000).

Segundo Karlen et al. (1997), quantificar a QS é um trabalho difícil e exige atenção para escolha do método adequado, qualitativo e quantitativo, que avalie e seja capaz de transformar a natureza múltipla e específica de cada tipo de solo em características mensuráveis, para representar o real estado de funcionamento, proporcionando considerações organizadas independente de seus abundantes usos.

O estudo de qualidade do solo é de suma importância, pois representa, o uso, a produtividade e a sustentabilidade geral do agrossistema. Sendo assim, o mesmo é um indicador importante quando há necessidade de se obter informações sobre o manejo, certificando-se segurar as devidas tomadas de decisões quanto as atividades (SPOSITO; ZABEL, 2003).

Considerando-se que a qualidade do solo pode ser limitada, conforme a utilização da terra, principalmente em área desflorestada, esta realidade pode ser mudada quando se opta por sistemas conservacionistas de manejo, como plantio direto (SILVA et al., 2000), conforme já descrito, este sistema visa a manutenção da qualidade por longo períodos, proporcionando a sustentabilidade agrícola (VEZZANI, 2001).

De acordo com Lal (1997), para permanecer ou aperfeiçoar a qualidade dos solos, devem ser adotadas técnicas de semeadura e cultivo que afetem ao mínimo a estrutura do solo, manejo de resíduos, preservação de água e irrigação. Ainda que a variedade de cultivares for aprimorada e seja realizada a aplicação e a quantidade correta dos defensivos, se não forem adotadas técnicas sustentáveis, a produtividade não é capaz de ser sustentada e sequer melhorada.

Segundo Alves et al. (2007), a qualidade física do solo é vista como uma das principais mudanças observadas nos atributos do mesmo, o qual desempenha grande influência no processo químico e biológico do solo, sendo assim, a análise da dinâmica da física do solo

contribui nos estudos de QS, (DEXTER, 1998) sendo de grande importância para se adotar a forma de manejo correta e sustentável (ARATANI et al., 2009).

Para Karlen (1997), o acompanhamento da qualidade do solo por meio de indicadores físicos é importante para preservar e analisar seu potencial produtivo. Os resultados desses indicadores apoiam as tomadas de decisões para aprimorar a forma de manejo do solo durante o cultivo.

Sendo assim, compreender a dinâmica física do solo é uma importante ferramenta, pois determina a forma que o mesmo será manejado para determinado uso. Ao analisar as características pode-se estabelecer práticas apropriadas como preparo, conservação, irrigação e drenagem (REICHERT, 2007).

Os principais indicadores de qualidade do solo são textura, estrutura, resistência a penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água e sistema de cultivo. Esses atributos são de suma importância para determinar as relações essenciais com o processo hidrológico, como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e infiltração (EMBRAPA, 2006).

## **2.5. Atributos físicos do solo**

### **2.5.1. Densidade do solo**

Para Klein (2006), a densidade do solo é definida pela relação existente entre a massa de sólidos por seu volume total, ocorrendo variações conforme o tipo de cultivo, alterando a estrutura do solo, modificando o volume dos poros.

Este atributo é dependente dos espaços porosos, portanto, solos que apresentam maior porosidade, apresentam menor densidade, sendo assim, todos os fatores que influenciam no espaço poroso irão influenciar na densidade do solo (LIMA; SIRTOLI, 2006).

Segundo Beutler et al. (2007) a densidade relativa quantifica o grau de compactação e condição de compactação do solo e determina um valor limitante de compactação à produtividade de culturas. Observa-se um alto grau de compactação, conforme decorrem maiores valores de densidade relativa, com influência na falta de oxigênio pela diminuição da porosidade e aeração do solo (DA SILVA et al., 2004).

Sendo assim, a compactação do solo pode ocorrer de maneira natural, a começar pela ação do seu próprio peso, nos horizontes mais profundos e também por atividades antrópicas, como utilização de maquinários agrícolas e pisoteio de animais (FACHIN et al., 2016).

Os valores de densidade do solo com textura grosseira variam entre 1,4 e 1,8 g/cm<sup>3</sup>; em contrapartidas solos com textura mais fina, variam de 0,9 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Solos arenosos normalmente apresentam densidades maiores, enquanto solos siltosos demonstram densidades menores (REICHARD; TIMM, 2012).

Segundo Marcolin e Klein (2011), solos agricultáveis mostram grande amplitude de densidade, conforme suas características mineralógicas, textura e teor de matéria orgânica. As práticas culturais influenciam na densidade do solo, modificando a porosidade, a distribuição de diâmetro dos poros e a resistência mecânica do solo a introdução das raízes (KLEIN, 2006).

Segundo Bertol et al. (2001) a diferenciação de prática de manejo e cultivo, causam alterações nas propriedades físicas do solo, interferindo no desenvolvimento da planta. Nesse contexto, com o passar do tempo, solos agricultáveis tem suas características de origem modificadas, pelo fracionamento dos agregados, conseqüentemente, diminuindo o volume de macroporos e aumentando o volume de microporos e densidade do solo.

### **2.5.2. Porosidade**

A porosidade do solo é definida como o espaço não ocupado por sólidos, mas por água e ar, realizando função primordial no comportamento físico-hídrico do solo aeração, condução e retenção de água e penetração das raízes (PEREIRA et al., 2013).

Segundo Brady (1989), a porosidade do solo pode ser dividida em duas classes: microporos, solos com diâmetro menor que 0,08 mm, responsáveis pela contenção de água ao contrário da gravidade, após serem saturados; macroporos, com diâmetros maiores que 0,08 mm, responsáveis pela drenagem e aeração do solo, por este motivo são esvaziados, pela ação da gravidade. Cabe destacar que os solos após indicarem saturação, podem apresentar grande indício de degradação (WENDLING, 2012).

Outros valores encontrados por Klein e Libardi (2002) para classificar macroporos, poros (>0,05mm), microporos diâmetro entre (0,05mm e 0,002mm), destacando que poros com diâmetro menor que 0,0002mm são nomeados como criptoporos.

Segundo Olszewski et al. (2004), a intensidade no preparo do solo ocasiona modificações indesejáveis no solo como: compactação que dificulta a penetração das raízes,

restringe a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes, reduzindo, assim, o desenvolvimento do vegetal. Além de aumentar a densidade e a resistência do solo, diminui a porosidade total e o tamanho dos poros.

### **2.5.3. Estabilidade dos agregados**

A estabilidade de agregados pode ser definida pela fração da estrutura do solo, a qual apresenta grande relevância para que se tenha passagem de ar por meio dos poros, o desenvolvimento radicular, absorvimento de água e o equilíbrio dos processos erosivos (DEXTER, 1988).

A formação dos agregados do solo necessita dos fatores que propiciam a aproximação das partículas primárias e dos elementos que mantêm as partículas unidas contra as forças que tendem a desagregá-las (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004).

Segundo Brandão e Da Silva (2012), a formação dos agregados do solo, de modo geral é representada de duas maneiras. A primeira condiz com a aproximação das partículas do solo, decorrente das variações do conteúdo de água, favorecida pelos ciclos de umedecimento e secagem, pela atuação mecânica das raízes e hifas de fungos ou pela atração eletrostática entre as partículas do solo (BOCHNER et al., 2008). A segunda, relaciona-se a estabilização, isto é, ao endurecimento da união das partículas do solo pela atuação cimentante dos polímeros orgânicos da matéria orgânica do solo e dos exsudados orgânicos liberados pelas raízes de plantas segundo as ligações com a superfície das partículas minerais do solo, por meio de cátions polivalentes (CASTRO FILHO et al., 1998; MIELNICZUK, 1999).

Há várias maneiras de estabelecer o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo (CASTRO FILHO et al., 1998). Podem ser utilizados como parâmetros o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA). Cada parâmetro demonstra um princípio diferente. O DMP será maior quanto maior for a percentagem dos agregados grandes suspensos nas peneiras com malhas maiores. O DMG demonstra uma estimativa de classes de agregados de maior ocorrência, e o IEA apresenta uma medida de agregação total do solo e não pondera a distribuição por classes de agregados. Portanto, quanto maior for a classe de agregado (até 0,25 milímetros), menor será o IEA (KEMPER; CHEPIL, 1965).

De acordo com Mielniczuk (2003), a formação de microagregados estáveis é um dos atributos essenciais que está relacionado à qualidade do solo, os quais são encarregados pela estrutura do solo, dentre outras propriedades provenientes.

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais significativos, pois está associada com a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, o fornecimento de nutrientes, a resistência mecânica do solo a penetração. Sendo assim, responsável pelo desenvolvimento do sistema radicular (CORRÊA, 2002).

Segundo Castro Filho et al. (1998) a utilização intensiva do solo, juntamente com as condições inadequadas de manejo, proporciona a deterioração das propriedades, modificando principalmente a estrutura natural, o que possibilita a formação de agregados pouco estáveis no solo. O impacto ocorre nas camadas superficiais expostas, em tipos de manejo que empregam revolvimento intensivo do solo, posto que o manejo inapropriado de preparo do solo por maquinários e implementos agrícolas leva à criação de uma camada superficial compactada (ARGENTON et al., 2005).

#### **2.5.4. Resistência do solo**

A resistência do solo a penetração é uma das propriedades físicas que está essencialmente vinculada com o crescimento das plantas (LETEY, 1985).

Segundo Beutler et al. (2005), há um aumento de massa por unidade de volume na compactação do solo, ocasionando aumento na densidade, na resistência a infiltração das raízes e na microporosidade relativa, o que favorece para redução da porosidade total e da macroporosidade.

Estudos de Da Silva et al. (2004) sobre compactação, concluem que o afastamento (deposição) da argila nas paredes dos poros e sobre o grão de quartzo, resulta em um engajamento mais compacto das partículas, elevando o adensamento das camadas subsuperficiais. Este acontecimento é mais significativo em solos cuja argila está em maior grau de dispersão, mudando facilmente sob condições de chuva ou irrigação (HELALIA et al., 1988).

Segundo Figueiredo et al. (2008), a compactação do solo, decorrente da atividade agrícola, também pode ocasionar alterações na retenção de água do solo, devido as alterações ocorridas na distribuição do diâmetro de poros, principalmente na redução da macroporosidade. Para Gupta et al. (1989), conforme ocorre mudanças nesse atributo físico

do solo pode reduzir o desenvolvimento do sistema radicular, sendo assim, elevando o escoamento superficial e aumentando a erosão.

Albuquerque et al. (2001), relatam que a compactação é ocasionada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio de animais em áreas de integração lavoura pecuária. Essas atividades realizadas de forma excessiva têm sido uma das principais causas de degradação da capacidade produtiva dos solos agrícolas.

Rosolem et al. (1999), descreve valores críticos de resistência à penetração variando de 1,5 MPa a 4,0 MPa. Entretanto, valores próximos de 2,0 MPa são, geralmente, aceitos como impeditivos ao crescimento radicular (BLAINSKI et al., 2008). Portanto, a variação dos atributos do solo, devido a forma de manejo, pode levar a degradação do solo que, por conseguinte, pode afetar a produtividade. Solos compactados interferem na dinâmica da circulação de água. À medida que a porosidade é reduzida há um aumento da resistência do solo reduzindo a infiltração da água. Neste contexto, há maior disponibilidade de água na superfície do solo para início do processo erosivo.

## **2.6. Degradação e erosão do solo**

A degradação do solo é definida como a perda da capacidade produtiva e da função atual ou potencial do mesmo (BLUM, 1997). Segundo Ranieri (1998), os processos associados com a degradação são: erosão, compactação, salinização acidificação, desgaste de solo, diminuição de nutrientes e carbono orgânico e redução da biodiversidade. Conseqüentemente, tais processos podem afetar outros elementos do meio físico como, clima, vegetação e água, representando, assim, a degradação de terras (LAL, 1997).

O manejo do solo é uma das principais intervenções que vem sendo executada, o qual vem recebendo críticas do ponto de vista ambiental, pois o sistema convencional de produção, fundamenta-se no revolvimento intenso do solo (aração e gradagem). Essa prática gera impactos negativos, como compactação, perda da camada superficial por erosão, redução dos teores de matéria orgânica, mudança na hidrologia de superfície, dentre outros (FONTANETTO; KELLER, 2001; PANACHUKI, 2006).

Considerando que o solo é um recurso limitado e que partes desses recursos necessitam de períodos longos para serem restaurados, a previsão do grau de degradação ambiental ocasionado pelo manejo inapropriado das atividades agropecuárias se torna fundamental (STEFANOSK et al., 2013). Segundo Costa et al. (2009), a degradação é proporcional conforme o tipo de alteração que o mesmo passou, à intensidade e o tempo.

O solo é um elemento essencial para conservação da atividade agrícola e sistemas naturais. Reverter o cenário de degradação, aperfeiçoar o uso, aumentar a produção e diminuir os impactos negativos da utilização, desenvolvendo novos sistemas que ocasionem menos impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade ambiental, social e econômica, são alguns dos objetivos do manejo e conservação de diferentes ambientes (ANDRADE et al., 2010).

A degradação do solo atinge áreas com vegetação natural e terras agrícolas extremamente exploradas pelo homem e, pode ser apontada como um dos mais graves problemas ambientais dos nossos dias. Dentre os modos de degradação, a erosão hídrica é a que afeta diretamente a produtividade de uma determinada área agrícola. Esta condição pode ser atribuída a forma inadequada de manejo do solo (CARVALHO et al., 2005).

São três as fases contínuas do processo erosivo, descrito como: desagregação, arraste e deposição das partículas do solo (PANACHUKI et al., 2006). Segundo Carvalho et al. (2002), o desprendimento é definido como a soltura das partículas dos agregados e, quando desprendidas, as mesmas podem permanecer próximas aos agregados ou serem transportadas (CARVALHO et al., 2002). Bahia et al. (1992) afirmam que a desagregação das partículas decorre pelo efeito integrado da energia do impacto das gotas d'água e da força cisalhante do escoamento superficial, formando assim, o estágio inicial e mais importante de erosão hídrica.

A erosão hídrica pode acontecer por forma laminar, por sulcos ou voçorocas. A erosão laminar se determina pela remoção da camada superficial do solo e a mesma só é observada quando grande parte do solo tenha sido removida (CARVALHO et al., 2002).

Amorim et al. (2001) descrevem que o domínio da energia e os impactos das gotas de chuva ou do escoamento superficial no desprendimento e transporte de sedimentos, deriva se a erosão é em sulcos ou em entre sulcos. Quando a erosão ocorre em sulcos, a mesma é caracterizada pela concentração do escoamento superficial produzido pela chuva, formando pequenos canais que podem ser simplesmente desfeitos pelas práticas do cultivo. Por outro lado, quando ocorre a erosão entre sulcos, este processo propicia a remoção de finas camadas do solo, uma após a outra.

Segundo Guerra (2010) os processos erosivos causados pela água das chuvas têm amplitude em quase toda superfície terrestre; quanto mais áreas são desmatadas para produções-agrícolas e/ou exploração de recursos naturais de forma não sustentável, maiores são as modificações de suas características originais, deixando o solo suscetível a alterações causadas pela força da água da chuva.

A erosão é a condição mais prejudicial de degradação do solo (COGO et al., 2003) e redução da produtividade, levando ao abandono das terras agrícolas. Além de causar assoreamento em rios, interferindo na qualidade da água, entre outros (COGO et al., 2003).

A erosão hídrica ocasionada pelo escoamento superficial, descola consigo sedimentos abundantes em matéria orgânica e outras substâncias químicas, degradando os solos superficiais e vertente (BARROS et al., 2009). Diversos são os fatores que interferem na erosão, como características das chuvas, densidade da cobertura vegetal, capacidade e declividade do terreno e resistência do solo em absorver água (BRAUN, 1961).

Conforme Cogo et al. (2003), a inclinação do declive do terreno influencia nas perdas de solo e água. À medida que aumenta o volume e a velocidade da enxurrada, aumenta o poder de transporte, bem como, a capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento, especialmente quando concentrados nos sulcos.

A cobertura vegetal é fundamental para diminuição do impacto das gotas de chuva e escoamento superficial. Sua capacidade de reduzir as perdas de solo por erosão, pode ser determinada, principalmente, pela proteção da superfície do solo proporcionada pelas plantas.

Com a redução do impacto direto das gotas de água da chuva no solo, há uma redução na desagregação do solo. Além disso, a cobertura do solo interfere na dinâmica hídrica da superfície, colaborando para o aumento da taxa de infiltração e diminuição do escoamento superficial (BARROS et al., 2009).

Para diminuição dos impactos ocasionados pela erosão hídrica, introduziu-se no Brasil o sistema de plantio direto, que tem como finalidade reduzir os impactos do plantio convencional e, baseia-se na ausência do revolvimento do solo (ROSCOE, 2006).

Panachuki et al. (2006), descrevem estudos de conservação e manejo do solo e da água, que além da utilização de instalação de parcelas experimentais de perda de solo sobre chuva natural, têm sido muito utilizados os simuladores de chuvas ou infiltrômetros de aspersão. Estas ferramentas de pesquisa foram desenvolvidas para ocorrer aplicabilidade de água por aspersão de aspecto similar às chuvas naturais (CARVALHO et al., 2012). Estes equipamentos têm por finalidade agilizar as coletas de dados e quantificar as perdas de solo e água, permitindo a avaliação de tipos de manejos de solos, da cobertura e do sistema de controle de erosão (CARVALHO et al., 2005).

O entendimento dos fatores que integram a dinâmica do processo erosivo e a quantificação das perdas de solo auxiliam e são o ponto de partida nos estudos para formação

de medidas que visam maximizar o uso dos recursos hídricos disponíveis, protegendo dos efeitos negativos oriundos da produção (PAIVA et al., 2001).

Portanto, a perda de água e solo em uma determinada área agrícola depende de diversos fatores relacionados a estrutura do solo, manejo, técnicas agrícolas e tipos de culturas.

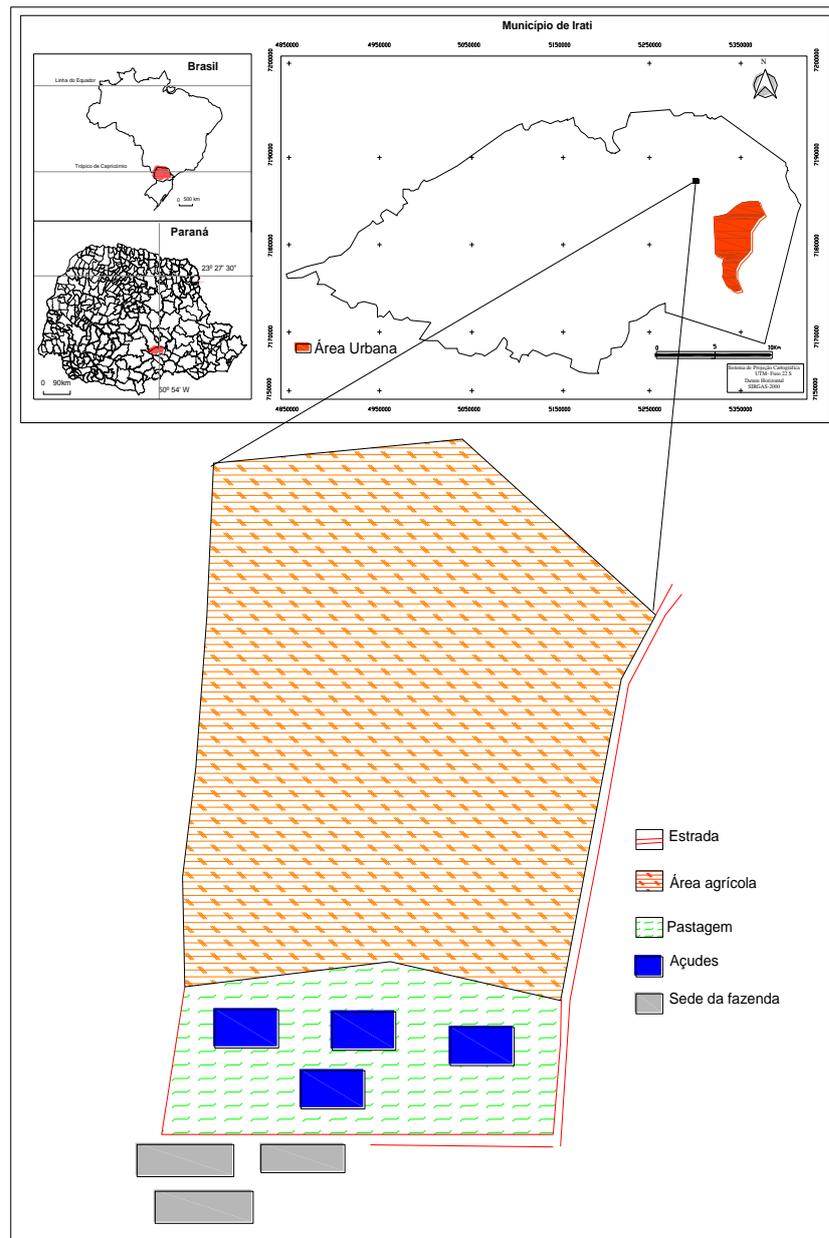
### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Área de estudos**

O presente estudo foi desenvolvido no município de Irati, Paraná, em uma área localizada na Serra do Papuã, com distância de 14 km do perímetro urbano. O clima do município é classificado segundo Kopper como Cfb (clima temperado úmido com verão temperado); a temperatura média máxima é de 24,2 °C e a média mínima é 11,0 °C, com média mensal de precipitação de 193,97 mm (IAPAR, 2018). A área da pesquisa é de 3 hectares, com declividade de 25% e, no local são produzidas culturas como: aveia, trigo, milho, soja e cebola (Figura 1).

O solo da área de estudos é caracterizado como Argiloso, o qual é constituído por material mineral, que tem como características o horizonte B textural de argila de atividade baixa ou atividade alta, desde que apresente saturação por bases baixa ou caráter alumínico. São solos de profundidades variáveis, desde fortes a imperfeitamente drenados segundo critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBICS) (EMBRAPA, 2018). Segundo análise física, o solo apresenta teor de matéria orgânica de 42,8 g/dm<sup>3</sup> e potencial hidrogeniônico de 6 (pH=6). Na análise granulométrica, esse solo possui 43 % de argila, 30 % de silte e 27% de areia.

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudos e uso do solo da propriedade estudada.



O sistema de plantio adotado pelo produtor rural é intercalado por sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto. Antes de ser plantada a cebola, a área estava ocupada pela cultura de soja e o sistema de plantio era plantio direto. No período da pesquisa, o produtor optou em realizar o plantio convencional, utilizando somente grade niveladora, regulada para a profundidade de 5 cm, podendo alcançar profundidade de 10 cm.

A cultivar de cebola escolhida para ser plantada na área é híbrida SOBERANA a qual foi plantada no dia 01 de junho e colhida dia 31 de outubro. O espaçamento da cultura foi com 15 a 20 sementes por metro linear, que resultou, aproximadamente, em 60 mudas por m<sup>2</sup>. Foram realizadas cinco adubações durante o ciclo da cultura da cebola, sendo: uma antes do plantio e

outras quatro após o plantio, aproximadamente, de 30 em 30 dias no decorrer do desenvolvimento da planta.

### **3.2. Coleta dos dados**

Este trabalho foi desenvolvido por meio de atividades em campo, laboratório e gabinete. As atividades em campo foram realizadas para coleta de amostras deformadas do solo para análise e simulações de chuva para avaliar a taxa de perda de água e solo. Na sequência das atividades de campo foram realizados os trabalhos em laboratório e gabinete para avaliação das amostras coletadas.

Destaca-se que foram identificados 5 estádios denominados: V1 (período de germinação); V2 (formação de folhas e raízes); V3, (bulbificação); V4 (tombamento) e V5 (colheita). Para realizar a coleta foi utilizado o método zig zag na vertente, para evitar resultados tendenciosos. Ao todo foram realizadas 5 campanhas de coletas de dados, correspondentes aos cinco estádios de vegetação da cebola.

Para o estudo da densidade, porosidade e estabilidade de agregados foram realizadas 3 repetições em cada um dos níveis de profundidades (0-5 cm), (5-10 cm), (10-20 cm) e (20-30 cm), totalizando 12 observações em cada estágio V1, V2, V3, V4 e V5 da cebola e, 60 observações no total.

Para a análise de resistência do solo, foram realizados de forma aleatória dentro da área pesquisada, 3 coletas em cada um dos níveis de profundidade (0-5 cm), (5-10cm), (10- 15 cm), (15-20 cm), (20-25 cm), (25-30 cm), (30-35 cm) e (35-40 cm), totalizando 24 observações em cada estágio V1, V2, V3, V4 e V5 da cebola e, 120 observações no total.

Para mensurar a perda de água e solo nos diferentes estádios da cebola, foi utilizado um simulador de chuva, sendo realizadas 5 simulações (uma simulação em cada fase do cultivo). Em cada simulação foram utilizadas três parcelas de erosão de solos do tipo Gerlach, cada parcela media 1 m<sup>2</sup>.

### 3.3. Densidade do Solo

Para a avaliação da densidade aparente do solo (DAP), foi utilizado o método do anel volumétrico (cilindro de metal) de 100 cm<sup>3</sup>, que foi introduzido no solo para preencher o volume total do anel (Figura 2).

Figura 2. Método de coleta do solo com anel volumétrico.



Fonte: A autora (2019).

As amostras foram levadas ao laboratório e secadas a 105°C por 24 horas em estufa para a retirada da umidade. Após secagem as amostras foram pesadas e aplicadas a equação 1, proposta pela Embrapa (1997).

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad \text{equação 1}$$

Sendo:

$D_s$  = Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)

$M_s$  = Massa seca (g)

$V$  = volume do anel (cm<sup>3</sup>)

### 3.4. Densidade de Partículas

Para estimar a densidade de partículas foi utilizado o procedimento de análise do balão volumétrico proposto pela Embrapa (1997). Esse método se caracteriza na inserção de 20 g de solo

seco e moído em balão volumétrico de 50 ml, completando com álcool etílico até a marca do nível de 50 ml. Na sequência, agita-se e deixa em repouso por 24 h. Se acaso houver redução no volume do álcool se completa novamente. A densidade de partículas foi obtida pela equação 2.

$$Dr = \frac{P}{(50 - V_{\text{álcool}})} \quad \text{equação 2}$$

Sendo:

Dr = densidade de partículas (g/cm<sup>-3</sup>)

P = Peso da amostra seca (g)

V álcool = Volume do álcool gasto (ml)

### 3.5. Porosidade

A porosidade foi estimada através do método proposto pela Embrapa (1997), em que se cruza os dados de densidade de partículas com a densidade aparente conforme a equação 3.

$$P_t = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100 \quad \text{equação 3}$$

Sendo:

P<sub>t</sub> = porosidade total (%)

Dr = densidade de partículas (g/cm<sup>-3</sup>)

Da = densidade aparente (g/cm<sup>-3</sup>)

### 3.6. Estabilidades de Agregados

A determinação do percentual de agregados foi realizada por via úmida. Para isto, foram coletadas amostras em três pontos (escolhidos aleatoriamente) ao longo da vertente. As amostras coletadas a 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade foram secas ao ar por 72 horas, pesadas e então, submetidas ao peneiramento submerso em água para avaliação da estabilidade de seus agregados.

O peneiramento por via úmida foi realizado de acordo com o método de Yoder (1936) descrito por Kiehl (1979). Utilizaram-se peneiras com 15 cm de diâmetro e malhas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25 mm.

Depois de realizado o peneiramento, os agregados foram colocados em *beckers* numerados e secos em estufa a 105°C durante 24 horas. Após secos, estes foram novamente pesados, para determinação do percentual de agregados.

Após peneiramento das amostras, realizou-se a correção do teor de areia em malha de 0,053 mm. Para determinar a estabilidade de agregados, observou-se a necessidade de identificar o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA).

A estimativa do DMP foi realizada utilizando-se a equação 4, descrita por Youker e Macguines (1956) apud Kiehl (1979).

$$DMP = \sum (Cmm * P) \quad \text{equação 4}$$

Sendo: DMP: Diâmetro médio ponderado (mm)

Cmm: Centro de classes de tamanhos dos agregados

P: Proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao peso total da amostra.

Para estimativa do DMG foi utilizada a equação descrita por Castro Filho et al. (1998). (equação 5).

$$DMG = \exp\left(\frac{P_{ai} * \ln DMC_i}{\sum P_{Tai}}\right) \quad \text{equação 5}$$

Sendo:

DMG: Diâmetro Médio Geométrico (mm)

Pai: Peso de agregado de cada classe (g)

lnDMCi: Logaritmo natural do diâmetro médio da classe

PTai: Peso Total da Amostra (g)

O índice de estabilidade de agregados foi estimado através da equação 6, descrita por Castro Filho et al. (1998).

$$IEA = \frac{(Ps - wp_{0,25} - areia)}{(Ps - areia)} * 100 \quad \text{equação 6}$$

Sendo:

IEA: Índice de estabilidade de agregados (%)

Ps: massa da amostra seca (g)

wp<sub>0,25</sub>: é a massa dos agregados da classe <0,25 mm (g).

### 3.7. Resistência do solo

A resistência do solo à penetração foi monitorada através da utilização de um penetrômetro de impacto o qual avalia a resistência do solo em perfil (0 - 60 cm de profundidade). Este aparelho de medida da resistência do solo é do tipo dinâmico, cuja penetração ocorre por impacto (STOLF et al., 2014).

O instrumento é equipado por uma haste com um cone na extremidade inferior, sendo que na parte superior possui um peso de curso constante (4kg) para provocar a penetração da haste no solo através de impactos.

Os dados obtidos foram processados em um programa computacional de manipulação de base de dados de modelo Stolf versão 2013 em Excel-VBA. Após o tratamento inicial, os dados são convertidos em Mpa (Mega Pascal) unidade de pressão, conforme equação 7.

$$RMSP = \frac{5,8 + 6,89 * N}{10,2} \quad \text{equação 7}$$

Sendo:

RMSP = Resistência mecânica a penetração (Mpa)

N= Número de impactos por decímetro de profundidade

### 3.8. Exposição do solo

O percentual de exposição do solo foi avaliado através da adaptação de um quadro de madeira de 1 m<sup>2</sup>, (ANTONELI, 2011). Neste quadro foram feitas subdivisões a cada 10 cm, formando uma malha de 100 quadros menores de 100 cm<sup>2</sup> cada. A partir dessa malha, foi realizada a avaliação da exposição do solo em 1 m<sup>2</sup>.

Os dados foram representados em um croqui, onde foi anotado o percentual de exposição de cada quadro menor (100 cm<sup>2</sup>). Para estipular o percentual de exposição dentro desses quadros menores, foi realizada uma avaliação visual, indicando um valor aproximado do percentual de exposição. Ao término da avaliação dos 100 (cem) quadros menores, foram somados todos os valores estimados e divididos pelo número total de quadros. Destaca-se que foram realizadas 10 repetições, escolhidas ao acaso, para evitar resultados tendenciosos. O resultado do percentual de exposição do referido ponto (1 m<sup>2</sup>) foi estimado pela equação 8.

$$P_{exp} = \frac{\sum_{m=1}^{n-1} qm}{Nq} \quad \text{equação 8}$$

Onde:

$P_{exp}$  = Porcentagem de exposição do solo em  $1\text{m}^2$

$\sum_{m=1}^{n-1} qm$  = Somatório da exposição dos quadros menores ( $100\text{ cm}^2$ )

$Nq$  = Número total de quadros menores do equipamento.

### 3.9. Perda de água e solo no cultivo da cebola

Para avaliar as perdas de água e solo no cultivo da cebola, foram instaladas Calhas de Gerlach (3 calhas em cada simulação) com parcelas fechadas de  $1\text{ m}^2$  (Figura 3).

Figura 3. Simulação de chuva em cultivo de cebola.



Fonte: A autora (2019).

Foi realizada uma simulação em cada fase de desenvolvimento da planta da cebola. As calhas foram distribuídas em diversos pontos da área experimental. O fluxo de água gerado dentro de cada parcela foi direcionado para um recipiente acoplado em cada calha. Os materiais coletados (água e sedimentos) foram levados ao laboratório para análise. Foi mensurado o volume de água de cada amostra e levado a estufa para evaporação a  $105\text{ °C}$  por 24 horas. Após a evaporação, as amostras foram pesadas em balança analítica para o cálculo da perda de solos em cada parcela.

As simulações a cada fase do desenvolvimento são justificadas devido a variabilidade tanto nas condições de uso (fases do cultivo) quanto na morfologia da planta, pois o efeito da

morfologia da planta pode provocar variação na dinâmica de entrada de água no solo, interferindo na dinâmica do processo de perdas de água e solo.

### 3.9.1. Características do simulador

Para a simulação da chuva durante as fases do cultivo da cebola, foi utilizado um simulador pertencente ao grupo de pesquisa Geomorfologia experimental e Erosão de Solos para simular chuva em diferentes fases e manejo do cultivo.

O simulador contém as seguintes características: a) Bico (SPRACO); b) Bomba de água 2,5 HP; c) Canos de ferro vazados  $\frac{3}{4}$ "; d) Conexões (plástico e ferro); e) Manômetro para controle de pressão; f) Mangueiras  $\frac{3}{4}$ "; g) Cordas para sustentação do equipamento; h) Reservatório de água e veículo para transporte.

A chuva simulada foi lançada de uma altura de 4,8 m, durante um tempo padrão de 60 minutos. O simulador produz gotas com diâmetro entre 0,35 a 6,35 mm, com média de 2,40 mm (Figura 4).

Figura 4. Características do simulador de chuva instalado em campo durante a simulação



Fonte: A autora (2019).

Com essas características, o equipamento produz uma chuva com energia cinética de 90% de uma chuva natural (THOMAZ, 2012). Entre as vantagens em se usar o simulador de chuva está a possibilidade de se manter a chuva constante e variar outras condições como, uso, declividade, tipo de solo, etc. É possível detalhar o processo de escoamento (tempo de

concentração e recessão) infiltração, produção e descarga de sedimento por área de contribuição, entre outras (THOMAZ, 2012).

Todo o fluxo de escoamento e sedimento foi cronometrado, anotado e coletado a partir do seu início em potes, os quais foram enumerados e devidamente demarcados para posterior análise. Estas amostras foram levadas para laboratório e passadas pelo processo de evaporação em estufa para obter os valores de sedimento acumulado.

Para os valores de escoamento foram realizadas a média de escoamento das três calhas, e este valor da média foi dividido pela quantidade de precipitação de cada tempo da simulação. Em seguida, foi obtida a soma do valor total de escoamento e realizada a média total de escoamento. Por fim, ao chegar no valor médio total de escoamento, o resultado foi multiplicado pelo total de precipitação da simulação, obtendo assim valores ponderados de escoamento em  $l/m^2/mm$ .

Para os valores de sedimentos também foram realizadas médias de sedimentos das três calhas, em seguida o valor médio da quantidade de sedimentos foi dividido pela quantidade de precipitação para o tempo de 5 minutos. Ao final, foi dividido os milímetros de chuva simulada pela perda de solo total e realizada uma ponderação dos dados para o cálculo de gramas de solo por milímetro precipitado, obtendo-se  $g/m^2/mm$  de sedimentos.

Foram descritos separadamente como ocorreu a dinâmica da perda de água e sedimento para cada campanha. Para cada (V) foi realizada uma simulação de chuva.

### **3.10. Calendário das atividades agrícolas desenvolvidas no cultivo da cebola**

Foi elaborado um calendário mensal das atividades agrícolas da área de estudos, no intuito de identificar as práticas (manejos) do solo que foram utilizadas e sua influência nos atributos físicos do solo e na perda de água e solos. Este calendário deu suporte para o entendimento da influência do manejo nos possíveis processos de degradação do solo.

### **3.11. Análise estatística dos dados**

Os dados coletados foram tabulados no programa Excel da Microsoft. No mesmo foram realizadas as médias, que em seguida foram aplicadas no software específico de processamento de dado Surfer 8® para análise de resistência do solo e RStudio (2019) para análise exploratória dos dados de densidade, porosidade, resistência e estabilidade dos agregados do solo.

Para análise exploratória de dados foram aplicados delineamentos (DIC) em esquema fatorial, que possibilitam que seja estudado ao mesmo tempo o efeito de dois ou mais tratamentos, avaliando também a forma conjunta dos fatores, bem como se o experimento foi bem conduzido.

Para a análise da densidade, porosidade e estabilidade dos agregados em que foram conduzidas três repetições, foram utilizados esquemas fatoriais 5 x 4, que correspondem a modelos estatísticos com dois fatores, estádios e profundidade, sendo o fator estádios com cinco níveis vegetativos da cebola (V1, V2, V3, V4 e V5) e o fator profundidades com quatro níveis (0-5; 5-10; 10-20 e 20 a 30cm). Para a análise da resistência do solo foram conduzidas 3 repetições e utilizados esquemas fatoriais 5 x 8, que correspondem a modelos estatísticos com dois fatores, estádios e profundidade, sendo o fator estádios com cinco níveis vegetativos da cebola (V1, V2, V3, V4 e V5) e o fator profundidades com oito níveis (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30; 30-35 e 35 a 40cm).

Na sequência, foi realizada a Análise da Variância (ANOVA) para um nível de 5% de probabilidade de erro. Considerando a necessidade de verificação das pressuposições da ANOVA, em relação aos resíduos, foram realizados os testes de normalidade de Shapiro Wilk, o teste de homocedasticidade de Bartlet e o teste de independência de Durbin-Watson, de modo que para p-valores > 0,01, em qualquer dos testes, concluiu-se pela normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos.

Nos casos em que não foram verificadas as pressuposições da ANOVA, em relação aos resíduos, buscou-se, primeiramente, transformar os dados usando a transformação Box-Cox que consiste em transformar os valores da variável resposta  $Y_i$  por  $Y_i(\lambda)$ , sendo o valor de  $\lambda$  estimado por máxima verossimilhança e igual ao valor que maximiza esta função. Após a transformação de  $Y_i$  por  $Y_i(\lambda)$ , verifica-se novamente as pressuposições da ANOVA. Não sendo possível ainda, verificar as pressuposições, buscou-se excluir os *outliers* do conjunto de dados.

Na ANOVA, quando a interação entre os fatores foi significativa (p-valor <0,05) foi necessário observar os efeitos de cada um dos fatores separadamente para cada nível do outro fator. Quando a interação não resultou significativa, tem-se que o efeito de um fator não depende do efeito do outro, assim, foram realizadas inferências separadamente para cada um dos fatores, pois os mesmos são independentes.

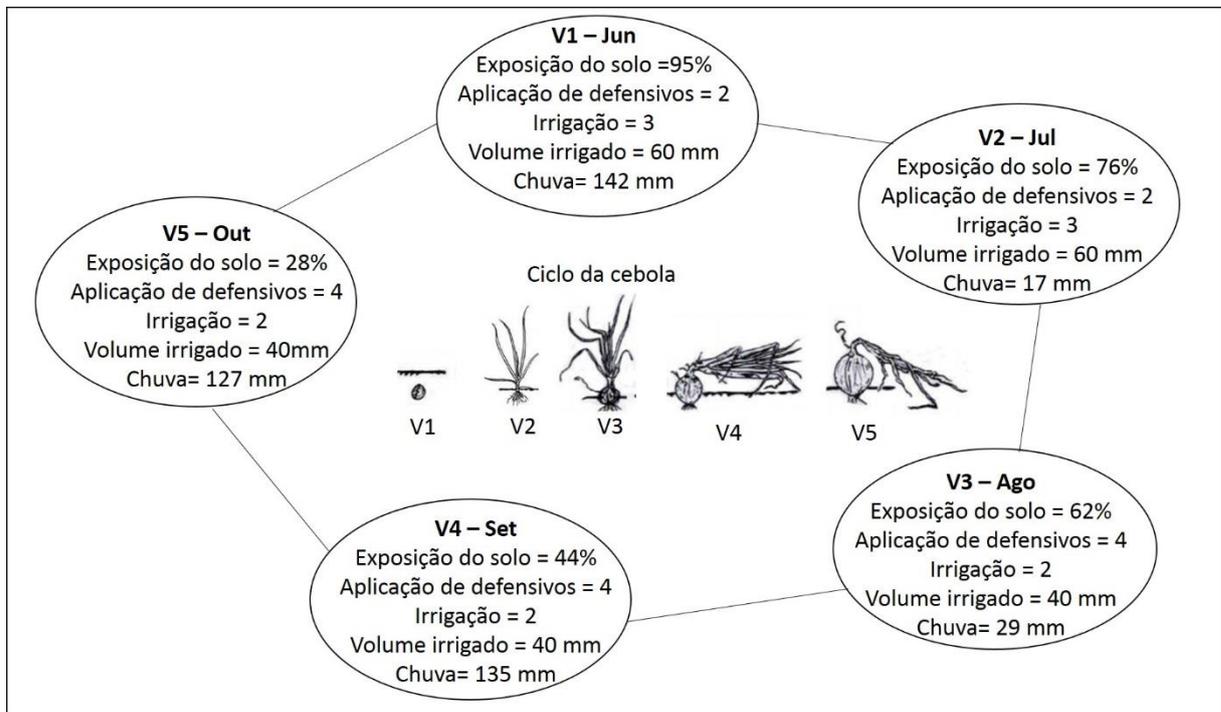
Quando as médias resultaram estatisticamente diferentes aplicou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de 5% de significância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Calendário das atividades agrícolas durante o cultivo da cebola

Em estudos que se propõe avaliar alguns condicionantes do solo durante as fases de uma determinada cultivar, faz-se necessário a elaboração de calendário agrícola. Segundo Antoneli et al. (2019), o calendário das atividades agrícolas é uma forma de entender como tais atividades podem interferir nas mudanças químicas e físicas do solo ao longo do cultivo. Ao que diz respeito a presente pesquisa, o calendário das atividades agrícolas serviu de base para avaliar a influência deste na qualidade física do solo e nas perdas de água e solo (Figura 5).

Figura 5. Calendário agrícola da cultura da cebola.



Fonte: Adaptado International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV), (1999).

O plantio da cebola foi realizado no início do mês de junho e a colheita no final do mês de outubro, determinando um ciclo de aproximadamente 150 dias. Como descrito anteriormente, a forma de plantio adotada pelo produtor foi o plantio convencional. Antes do plantio, a área da pesquisa foi corrigida com calcário, cálcio e enxofre, em seguida foi realizado adubação com fósforo, utilizando uma plantadeira de trigo e, para finalizar o preparo do terreno, o produtor realizou adubação de plantio. Para finalizar as adubações nos estágios V4 e V5 foi

realizado 4 adubações de cobertura de 15 em 15 dias. O preparo do terreno foi realizado somente com trator acoplado com grade niveladora, com regulagem de 5 cm de profundidade, podendo atingir profundidade de até 10 cm.

Nos primeiros dias do plantio da cebola, houve um período com altos índices de chuva, onde ocorreu o selamento da superfície do solo dificultando a germinação. Para que a planta conseguisse germinar o produtor realizou irrigações de 7 em 7 dias até a formação da terceira folha, totalizando 6 irrigações nos estágios V1 e V2. Após a formação da terceira folha da cebola, a irrigação foi realizada de 15 em 15 dias, somando mais 6 irrigações até a colheita, totalizando ao final do ciclo da cebola 12 irrigações. Em cada irrigação, era aplicado um volume de, aproximadamente, 20 mm.

Na soma do volume da chuva natural com o volume da irrigação, obteve-se um valor total de 690 mm, sendo que 450 mm (65,2%) foi de chuva natural e 240 mm (34,8%) de chuva simulada. O início do cultivo (V1) indicou maior volume de chuva natural (142 mm), seguido do V4 e V5 (135 mm e 127 mm, respectivamente). Do total de água (chuva natural e simulada) em cada fase do cultivo, o V1 indicou o maior volume (29,3%). O menor volume de água observado foi durante a fase 3 (V3), onde a precipitação total (chuva natural + simulação) foi de apenas 69 mm (10%). Deste total, apenas 29 mm foi de chuva natural e 40 mm de simulação.

As aplicações de defensivos agrícolas ocorreram de 15 em 15 dias nos estágios V1 e V2 e de 7 em 7 dias nos estágios V3, V4 e V5, totalizando no final do ciclo da cultura 16 aplicações.

Ao longo do cultivo foram observados diferentes percentuais de exposição do solo, como a forma de plantio adotada foi a convencional, no início do cultivo o solo estava com cerca de 95% de exposição. Durante o desenvolvimento da cebola, houve redução considerável. Na última fase de cultivo (V5), a exposição média do solo foi de 28%. Nesta última fase, a cebola passa do tombamento para a cura, ficando “acamada” na superfície do solo. Este processo ajuda na redução da exposição, que, por conseguinte pode interferir na taxa de perda de água e solo.

## **4.2. Avaliação dos Atributos físicos do solo durante o cultivo da cebola**

### **4.2.1. Densidade do solo**

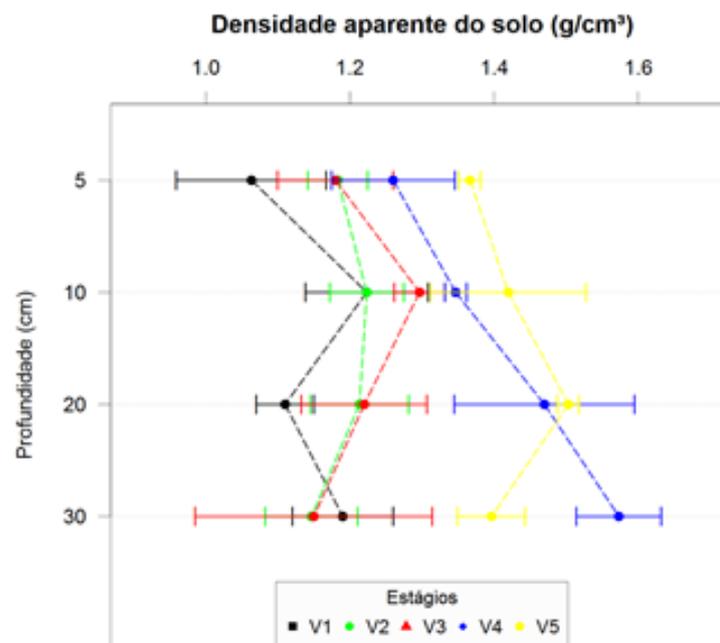
A densidade do solo é uma propriedade física que depende de outros fatores e processos pedogenéticos. Dentre os fatores destaca-se o uso e manejo do solo, o pisoteio dos animais em pastejo, o tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que por sua vez, podem comprometer

sua qualidade (HAMZA e ANDERSON, 2005). No caso desta pesquisa, a densidade do solo indicou valores crescentes ao longo do cultivo. Este aumento pode estar relacionado ao sistema de cultivo empregado, e ao tráfego desempenhado durante o ciclo de cultivo (TAVARES FILHO e RIBON, 2008; IORI et al., 2012).

A densidade do solo na camada superficial (0 a 5 cm) foi de  $1,06 \text{ g/cm}^3$  no início do plantio e  $1,36 \text{ g/cm}^3$  no final do cultivo (aumento de 30%). A menor variação entre as campanhas de coleta foram observadas a 10 cm de profundidade, onde no início do cultivo (V1), a densidade do solo era da  $1,22 \text{ g/cm}^3$  e no final do monitoramento (V5) o valor médio encontrado foi de  $1,42 \text{ g/cm}^3$ , aumento de 14,1% apenas.

A maior variação dos dados foi observada a 20 cm de profundidade, indicando dois blocos distintos de densidade do solo, sendo que nas três primeiras coletas (V1, V2 e V3) os resultados foram próximos (1,11; 1,21 e 1,22 respectivamente), enquanto que nas campanhas V4 e V5, os valores foram similares (1,47 e 1,50), porém distintos das três primeiras campanhas (Figura 6). Os valores encontrados nessa pesquisa estão dentro da margem observada por Klein (2012) em solos agrícolas, os quais segundo o autor variam de 0,9 a  $1,8 \text{ g/cm}^3$ .

Figura 6. Densidade do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola.



Fonte: Autora (2020).

Pelo teste de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk, concluiu-se que os resíduos são normais, p-valor igual a 0,1272 ( $>0,01$ ). O teste de homocedasticidade dos resíduos mostrou que os resíduos são homocedásticos, com p-valores em relação a cada um dos fatores do

modelo, estádios e profundidades, maiores que 0,01 (0,2961 e 0,7121 respectivamente). Ao ser analisada a independência dos resíduos através do teste de Durbin Watson, foi encontrado o p-valor de 0,8919 ( $>0,01$ ), portanto os resíduos gerados pela análise estatística são independentes.

Na aplicação da ANOVA, obteve-se um p-valor de 0,00630 ( $<0,05$ ), para a interação entre os fatores estádios e profundidade, indicando que a interação dos fatores analisados é significativa estatisticamente.

Assim, pelo resultado do teste de significância da interação, pelo menos uma das combinações entre os níveis do fator estádios e do fator profundidade têm efeitos diferentes. Na análise da variância em relação ao desdobramento de dados do efeito dos estágios dentro de cada nível de profundidade, observou-se p-valores  $<0,05$ , confirmando-se que, existe diferença significativa entre os estágios de desenvolvimento em relação as profundidades.

Através do teste de Tukey a 5 % de significância, observou-se que em relação aos estágios houve variação significativa dentro de uma mesma profundidade. Essas diferenças nas médias entre estádios em cada nível de profundidade estão indicadas na Tabela 2, por letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Assim, no primeiro nível de profundidade (0-5 cm), as médias de densidade nos estádios V4 e V5 são estatisticamente iguais (A); bem como as médias de densidade nos estágios V2, V3 e V4 (B) e as médias de V1, V2 e V3 (C). No segundo nível de profundidade (5-10 cm), as médias de densidade nos estádios V3, V4 e V5 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V1, V2, V3 e V4 (B). No terceiro nível de profundidade (10-20 cm), as médias de densidade nos estádios V4 e V5 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V1, V2 e V3 (B). No quarto nível de profundidade (20-30 cm), as médias de densidade nos estádios V1 e V2 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V3, V4 e V5 (B).

Quando comparadas as médias de densidade dentro dos níveis de profundidades em cada campanha (letras minúsculas), observa-se que não houve variação significativa nas campanhas V1, V2, V3 e V5. Ou seja, os valores de densidade do solo nas diferentes camadas nessas campanhas indicaram que as médias dos diferentes níveis de profundidade, nesses estádios, são estatisticamente iguais. Apenas a campanha V4 indicou variação significativa entre as camadas (Tabela 2). Constatou-se que as médias de densidade nos níveis de profundidade 10-20 cm e 20-30 cm são estatisticamente iguais (a), bem como as médias nos níveis de profundidade 5-10 cm e 10-20 cm (b) e as médias nos níveis de profundidade 0-5 cm e 5-10 cm (c).

Tabela 2. Média da densidade do solo em cada estágio do cultivo e suas respectivas profundidades.

	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )				
	V1	V2	V3	V4	V5
<b>0-5</b>	1,06 <sup>ns</sup> C	1,18 <sup>ns</sup> BC	1,18 <sup>ns</sup> BC	1,26 cAB	1,36 <sup>ns</sup> A
<b>5-10</b>	1,22 <sup>ns</sup> B	1,22 <sup>ns</sup> B	1,30 <sup>ns</sup> AB	1,35bcAB	1,42 <sup>ns</sup> A
<b>10-20</b>	1,11 <sup>ns</sup> B	1,21 <sup>ns</sup> B	1,22 <sup>ns</sup> B	1,47 abA	1,50 <sup>ns</sup> A
<b>20-30</b>	1,19 <sup>ns</sup> B	1,15 <sup>ns</sup> B	1,15 <sup>ns</sup> B	1,57 aA	1,40 <sup>ns</sup> A

As letras minúsculas comparam as médias das colunas entre as camadas de cada campanha. As letras maiúsculas comparam as médias das linhas entre as profundidades dentre todas as campanhas de coletas. Para ambos os casos, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

Nota: NS/<sup>ns</sup>= Não significativo a nível de 5%.

O aumento da densidade do solo durante o cultivo observado por essa pesquisa corrobora com resultados que têm sido retratados pela literatura ao longo do cultivo.

Ball-Coelho et al. (1998), confirmam aumento da densidade em solos arenosos, observando maior taxa de retenção de água no solo, não reduziu a produtividade ao longo do cultivo do milho. Albuquerque et al. (2001), em um comparativo de solos argilosos e arenosos, constatou em plantio de milho, que em solos argilosos, a densidade e resistência do solo à penetração de raízes, pode ser maior do que em solos arenosos, causando assim dificuldade no desenvolvimento radicular do vegetal.

Comparando o sistema de plantio direto para sistema de plantio convencional na cultura da batata, foi observado em um solo argiloso o aumento na densidade do solo até profundidade de 25cm (MUNDY et al., 1999).

Valores críticos da densidade do solo variam entre 1,55 g/cm<sup>3</sup> para solos com textura argilosa e 1,85 g/cm<sup>3</sup> para solos com textura arenosa. Valores acima dos citados poderiam comprometer o desenvolvimento radicular e como consequência a redução da produtividade (REINERT et al., 2008).

O crescimento normal das raízes das plantas pode ocorrer até o limite de densidade de 1,75 g/cm<sup>3</sup>. Entre a faixa de 1,75 e 1,85 g/cm<sup>3</sup>, haverá restrição, com deformações na morfologia das raízes em grau médio, e, acima de 1,85 g/cm<sup>3</sup>, as raízes podem indicar alto grau de deformação (MELO et al., 2010). Neste caso a densidade do solo observada nesta pesquisa não dificulta o desenvolvimento das plantas.

No entanto, o aumento da densidade do solo ao longo do cultivo pode ser em decorrência da falta de remobilização do solo, pois no cultivo da cebola não houve remobilização do solo.

Esta condição pode contribuir para que haja aumento da densidade do solo (OLIVEIRA et al., 2003).

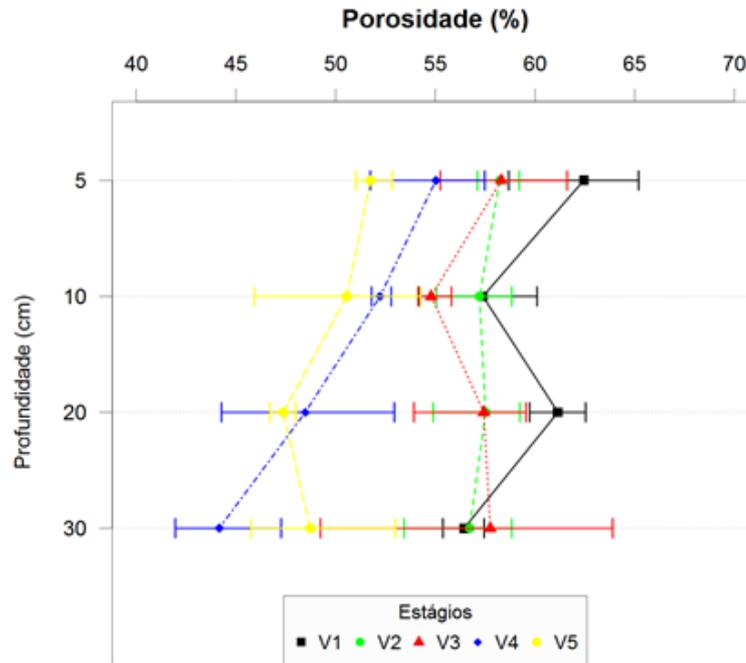
#### **4.2.2. Porosidade do solo**

A porosidade do solo é uma propriedade física do solo relacionada a alteração do seu volume, conseqüentemente relacionado com a compactação (REINERT et al., 2008). Solos compactados possuem menor porosidade total e maior densidade, pois são inversamente relacionadas (PETEAN, 2010).

A porosidade estabelece relação inversa com a densidade, quando a densidade aumenta a porosidade diminui. A redução de volume do solo ocorre quando sua capacidade de suporte é vencida e acontecem o deslocamento e a ordenação das partículas sólidas nos espaços vazios (REICHERT et al., 2007). O manejo do solo também é um fator importante para a alteração da porosidade. No caso do cultivo da cebola, foi observado que houve redução gradativa da porosidade ao longo do cultivo (figura 7).

No início do cultivo, (V1) a camada superficial indicou porosidade de 62,45% e na última fase (V5) essa porosidade foi de 51,75%, (redução de 17,13%). A menor variação da porosidade do solo foi observada a 10 cm de profundidade. Em 20 cm de profundidade foi observado dois momentos distintos da porosidade do solo. As três primeiras campanhas (V1, V2 e V3) indicaram valores similares (61,15; 57,52; 57,43), já as campanhas V4 e V5 indicaram os menores valores nesta profundidade (48,48 e 47,38).

Figura 7. Porosidade do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola.



Fonte: A autora (2020).

A redução da porosidade do solo nas camadas de 5, 10 e 20 cm de profundidade nos estádios V4 e V5, pode ser em decorrência da compactação do solo devido ao manejo, pois o agricultor utilizou apenas uma grade niveladora, que revolve o solo até 10 cm aproximadamente. A falta e/ou remobilização do solo pode aumentar a compactação do solo. Segundo Silveira et al. (2001), a maior mobilização do solo pelo arado de aiveca reduz a compactação do solo, indicando menor densidade do solo e maior porosidade total.

Na análise estatística dos resíduos, para verificação das pressuposições da ANOVA, no teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 1% de significância, o p-valor foi maior que 0,01 (0,2492), portanto, os resíduos da análise estatística estão dentro da normalidade. No teste de homocedasticidade, em que se verificou a relação de cada fator (estádios e profundidades), pelo teste de Bartlett, constatou-se homocedasticidade dos resíduos em relação aos dois fatores (0,142 e 0,1281 respectivamente). Pelo teste de Durbin Watson, verificou-se p-valor  $> 0,01$  (0,7106) indicando a independência dos resíduos.

Após a análise de variância ANOVA, o resultado do p-valor encontrado na interação entre os fatores foi  $> 0,05$  (0,1218), indicando que não existem efeitos em nenhuma das combinações entre estádios e profundidades. Nesse caso, são realizadas inferências separadamente para cada um dos fatores. Assim, como para os estádios e para profundidades os p-valores resultaram  $< 0,05$ , indicando que existem diferenças entre as médias dos estádios e

entre as médias nos níveis de profundidade, foram comparadas as médias entre os níveis dos fatores significativos. Essas diferenças nas médias entre estádios e entre profundidades estão indicadas na Tabela 3, por letras minúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Assim, as médias de porosidade nos estádios V1, V2 e V3 são estatisticamente iguais (a), porém estatisticamente diferentes das médias de porosidade nos estádios V4 e V5 (b). Em relação as médias de porosidade nos quatro níveis de profundidade, constatou-se variação significativa, sendo que as médias nos níveis 0-5, 5-10 e 10-20 são estatisticamente iguais (a), bem como as médias nos níveis 5-10, 10-20 e 20-30 (b).

Tabela 3. Média da porosidade do solo em cada estágio do cultivo e profundidade.

Estádios	Médias	Profundidades (cm)	Médias
V1	59,36 a	0 - 5	57,16 a
V2	57,43 a	5-10	54,43 ab
V3	57,08 a	10 -20	54,39 ab
V4	49,98 b	20 - 30	52,77 b
V5	49,61 b		

Para ambos os casos, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. As mesmas letras indicaram que não há variação significativa entre os dados.

A redução na porosidade do solo das campanhas V4 e V5, podem ser atribuídas ao manejo do solo, ao longo do cultivo da cebola. Cabe destacar, que apesar do cultivo ter sido realizado de forma convencional, houve mínimo preparo do solo. A erva daninha do solo foi removida através do uso dos herbicidas.

#### 4.2.3. Resistência do solo a penetração

A resistência do solo à penetração (RP) é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo oferece às raízes, sendo um dos mais comumente citados fatores físicos que afetam o crescimento das raízes (SILVA et al., 2008). Valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 MPa a 4,0 MPa (ROSOLEM et al., 1999); no entanto, valores próximos a 2 MPa são, de maneira geral, aceitos como impeditivos ao crescimento radicular (BLAINSKI et al., 2008).

Os valores de resistência do solo encontrados nessa pesquisa foram aumentando ao longo do cultivo. Ou seja, a resistência do solo sofreu influência do manejo do solo durante o cultivo da cebola. Na camada superficial, os valores foram superiores a 2,0 MPa.

Na análise estatística dos resíduos, para verificação das pressuposições da ANOVA, no teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 1% de significância, o p-valor foi maior que 0,01 (0,8786), portanto, os resíduos são normais. No teste de homocedasticidade, em que se verificou a relação de cada fator (estádios e profundidades), pelo teste de Bartlett, constatou-se homocedasticidade dos resíduos em relação aos dois fatores (0,0111 e 0,0983 respectivamente). Pelo teste de Durbin Watson, verificou-se p-valor  $> 0,01$  (0,9736) indicando a independência dos resíduos.

Na análise de variância ANOVA, o resultado do p-valor foi de  $0,0612 > 0,05$  para a interação entre os fatores estádios e profundidade, indicando que não existem efeitos em nenhuma das combinações entre estádios e profundidades. Nesse caso, são realizadas inferências separadamente para cada um dos fatores. Entretanto, para o fator profundidade o p-valor resultou  $> 0,05$  (0,0640), indicando que as diferenças entre as médias desse fator não são significativas e, portanto, são estatisticamente iguais. Para o fator estádios o p-valor resultou  $< 0,05$  ( $2 \cdot 10^{-6}$ ), indicando que existem diferenças entre as médias de resistência a penetração entre os estádios. As diferenças entre as médias nos estádios estão indicadas na Tabela 4, por letras minúsculas. Assim, as médias de resistência do solo a penetração nos estádios V1, V3 e V4 são estatisticamente iguais (a), bem como as médias de resistência a penetração nos estádios V1, V3 e V5 (b) e as médias nos estádios V2 e V5 (c).

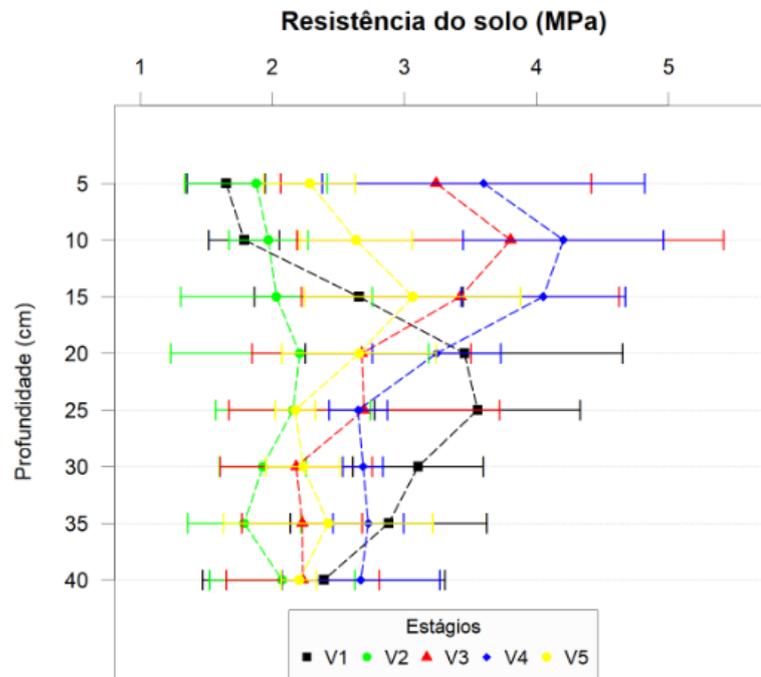
Tabela 4. Média da resistência a penetração no solo em cada estágio do cultivo e profundidade.

Estádios	Médias	Profundidades (cm)	Médias
V4	3,2288 a	0-5	2,5300 a
V3	2,8092 ab	5-10	2,8793 a
V1	2,6838 ab	10-15	3,0440 a
V5	2,4588 bc	15-20	2,8473 a
V2	2,0033 c	20-25	2,6453 a
		25-30	2,4260 a
		30-35	2,4087 a
		35-40	2,3133 a

Para ambos os casos, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. As mesmas letras indicaram que não há variação significativa entre os dados.

O estádio V1 teve maior variação entre as profundidades, iniciando em 1,65 MPa chegando em 3,55 MPa na profundidade de 25 cm. Outros valores que se destacaram foram nos estádios V3 e V4 ambos apresentaram aumento na profundidade de 0 - 10 cm e em seguida foram diminuindo até a profundidade de 40 cm (figura 8).

Figura 8. Resistência do solo nas diferentes fases do cultivo da cebola.



FONTE: A autora (2020).

Analisando os valores de compactação entre os estágios vegetativos, observa-se que o estágio (V4) nas profundidades de 0 a 15 cm representa os valores mais críticos comparando com outros estágios. Em seguida, se destaca os valores no estágio (V3) a partir da profundidade de 0 a 15 centímetros comparando com outros estágios (Tabela 4). Esses valores podem ser atribuídos pela forma de manejo do solo. A forma de plantio na área foi o sistema de plantio convencional o que ocasionou revolvimento do solo até 15 centímetros profundidade. Outro fator que influencia nos valores críticos de resistência é a quantidade de precipitação que ocorreu no estágio (V4), ocasionado pelo aumento da umidade do solo.

Segundo Oliveira et al. (2003), muitas vezes a preocupação da compactação do solo vem somente pelo uso errôneo dos maquinários, deixando de lado a importância de se manejar o solo com condições de umidade adequadas, tendo em vista que no estágio (V4) desta pesquisa, a umidade do solo estava alterada, observando que a quantidade de precipitação que ocorreu nesse período foi elevada comparando os outros estágios. Levando em consideração que durante todo o manejo da cultura foram aproximadamente 12 práticas de irrigações com chuva de 20mm cada uma, aumentando ainda mais a umidade do solo durante o manejo.

Os valores de resistência no estágio V4 foi maior que no estágio V5, esse aumento pode estar atrelado ao manejo da cebola, pois no estágio V5, a cebola havia sido arrancada, descompactando a camada superficial e diminuindo os valores de resistência do solo.

Na literatura são encontrados diversos resultados de pesquisa que comprovam a influência dos maquinários e implementos agrícolas na compactação do solo. Esses implementos causam pressão na parte externa do solo (SOANE et al., 1981), o qual desencadeia uma série de outros fatores que pode culminar com o aumento do processo erosivo.

Para o manejo da cebola os valores alterados de resistência do solo também são atribuídos ao uso excessivo desses implementos e maquinários agrícolas, como citado anteriormente no calendário agrícola da cultura. Durando o ciclo do cultivo da cebola, vale ressaltar, que foram necessário o uso mecanizado em todas as fases do cultivo, como: no preparo do solo, plantio, adução, aplicação de defensivos e fertilizantes, irrigações e colheita.

#### **4.2.4. Estabilidade de agregados**

Para análise estatística de estabilidade dos agregados do solo, primeiramente, foi realizada a verificação das pressuposições da ANOVA. Entretanto, não foram verificadas a normalidade e homocedasticidade dos resíduos. Buscou-se transformar os dados pela transformação Box-Cox, porém a homocedasticidade dos resíduos continuou não sendo verificada. Assim, decidiu-se pela exclusão de observações discrepantes que se diferenciam drasticamente das outras observações (outliers). Foram excluídas três observações, resultando em um conjunto de dados não balanceados.

Na verificação das pressuposições da ANOVA, quanto a normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos, constatou-se a validade da análise de variância para o conjunto de dados, pois as suposições foram satisfeitas. No teste de normalidade de Shapiro-Wilk a 1% de significância, o p-valor foi de 0,7541 ( $>0,01$ ). No teste de homocedasticidade de Bartlett, a homocedasticidade dos resíduos foi constatada em relação aos dois fatores estádios e profundidade (0,697 e 0,3473 respectivamente) e, no teste de Durbin-Watson, o p-valor  $> 0,01$  (0,8769), indicou a independência dos resíduos.

Através da aplicação da ANOVA para análise de variância, obteve-se um p-valor de 0,0068 ( $<0,05$ ) para a interação entre os fatores estádios e profundidade, indicando que a interação dos fatores analisados é significativa estatisticamente.

Assim, pelo resultado do teste de significância da interação, pelo menos uma das combinações entre os níveis do fator estádios e do fator profundidade têm efeitos diferentes. Na análise da variância em relação ao desdobramento de dados do efeito dos estágios dentro de cada nível de profundidade, observou-se p-valores  $< 0,05$ , confirmando-se que, existe diferença significativa entre os estágios de desenvolvimento em relação as profundidades.

Através do teste de Tukey a 5 % de significância, observou-se que em relação aos estádios houve variação significativa dentro de uma mesma profundidade. Essas diferenças nas médias entre estádios em cada nível de profundidade estão indicadas na Tabela 5, por letras maiúsculas. Assim, no primeiro nível de profundidade (0-5 cm), as médias de estabilidade dos agregados nos estádios V1, V2 e V3 são estatisticamente iguais (A); bem como as médias de estabilidade de agregados nos estádios V3 e V5 (B) e as médias de V4 e V5 (C). No segundo nível de profundidade (5-10 cm), as médias de estabilidade de agregados nos estádios V1, V2, V3 e V4 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V1, V3, V4 e V5 (B). No terceiro nível de profundidade (10-20 cm), as médias de estabilidade de agregados nos estádios V1 e V2 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V1, V3 e V5 (B) e as médias de V3, V4 e V5 (C). No quarto nível de profundidade (20-30 cm), as médias de estabilidade de agregados nos estádios V1, V3 e V5 são estatisticamente iguais (A), bem como as médias de V2, V4 e V5 (B).

Quando comparadas as médias de estabilidade de agregados dentro dos níveis de profundidades em cada campanha (letras minúsculas), observa-se que não houve variação significativa nas campanhas V1, V3 e V5. Ou seja, os valores de estabilidade de agregados nas diferentes camadas nessas campanhas indicaram que as médias dos diferentes níveis de profundidade, nesses estádios, são estatisticamente iguais. Apenas a campanha V2 e V4 indicaram variação significativa entre as camadas (Tabela 5). Assim, na campanha V2, constatou-se que as médias de estabilidade de agregados nos níveis de profundidade 0-5, 5-10 e 10-20 cm são estatisticamente iguais (a) diferentes da média do nível de profundidade de 20-30 cm (b). Na campanha V4, constatou-se que as médias de estabilidade de agregados nos níveis de profundidade 5-10 e 10-20 cm são estatisticamente iguais (a), bem como as médias nos níveis 0-5 e 10-20 cm de profundidade (b) e as médias nos níveis 0-5 e 20-30 cm de profundidade (c).

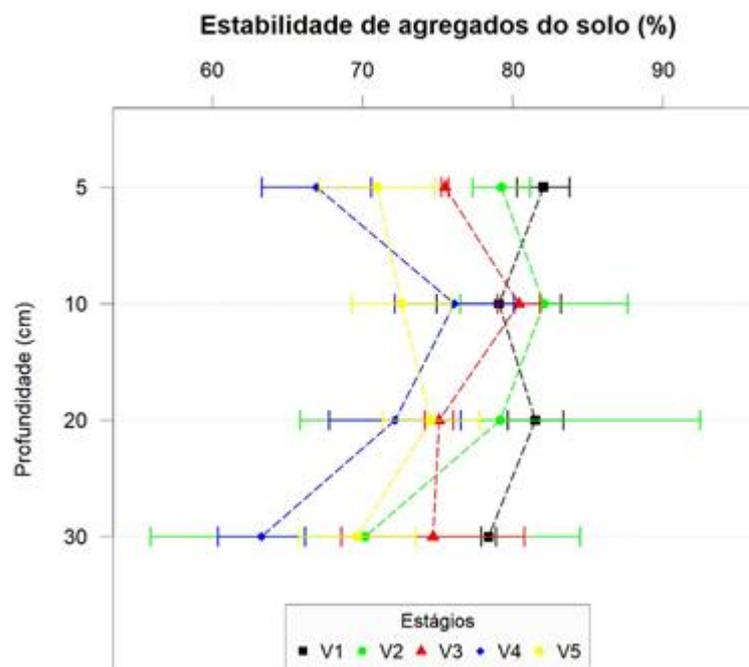
Tabela 4. Média da estabilidade dos agregados do solo em cada estágio do cultivo e suas respectivas profundidades.

Estabilidade dos Agregados (%)					
Profund. (cm)	V1	V2	V3	V4	V5
<b>0-5</b>	82,05 aA	79,24 aA	75,50 aAB	66,94 bcC	70,93 aBC
<b>5-10</b>	79,09 aAB	82,06 aA	80,41 aAB	76,11 aAB	72,59 aB
<b>10-20</b>	81,50 aAB	86,84 aA	75,10 aBC	72,16 abC	74,54 aBC
<b>20-30</b>	78,40 aA	65,39 bB	74,70 aA	63,26 cB	69,65 aAB

As letras minúsculas comparam as médias das colunas entre as camadas de cada campanha. As letras maiúsculas comparam as médias das linhas entre as profundidades dentre todas as campanhas de coletas. Para ambos os casos, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

As maiores discrepâncias entre as campanhas, foi observado na camada superficial e na última camada (30 cm de profundidade). Na primeira campanha (V1) foi encontrado o maior valor da estabilidade dos agregados na camada superficial (82%). O menor valor na camada superficial foi encontrado na quarta campanha (V4) com média de 66,9% (redução de 18,5% comparado com a primeira campanha). Ao longo das campanhas, observou-se redução da estabilidade de agregados, ou seja, demonstrando que o solo sofreu com a ação do tempo e do manejo (Figura 9).

Figura 9. Gráfico de Estabilidade de agregados do solo.



Fonte: A autora (2020).

O mínimo revolvimento do solo, para eliminação da erva daninha e descompactação do solo durante o cultivo da cebola, fez com que a estabilidade do solo se mantivesse elevada entre as camadas de 10 a 20 cm de profundidade. Observou-se que ao longo dos estágios de desenvolvimento da cebola, o índice de estabilidade dos agregados do solo foram diminuindo, causando instabilidade e, conseqüentemente, reduzindo a qualidade do solo na superfície. (Tabela 5). Estes processos podem ser em decorrência da exposição do solo e dos agentes erosivos.

Cabe ressaltar que a exposição do solo é bastante significativa na cultura da cebola, conforme descrito no calendário agrícola. Essa exposição vai demonstrando um decréscimo durante o desenvolvimento da cultura, mesmo assim, o baixo efeito de copa da cultura da cebola sobre o solo tornou mais intenso o impacto da gota da chuva durante todo o ciclo da cebola, favorecendo assim o rompimento dos agregados durante as campanhas.

Haynes et al. (1991) em uma pesquisa na Nova Zelândia em áreas de rotação de 2-5 anos, intercalando pastagens e outros tipos de cultura, em sistema de plantio convencional, observaram que a estabilidade dos agregados em pastagem for maior quando comparados com outras culturas, mesmo o teor de matéria orgânica permanecendo estável.

Silva et al. (1998) descreve que a escolha do sistema de manejo adotado tem relação direta ao comportamento da dinâmica do solo na formação dos agregados do solo. Como a área da pesquisa era em sistema de plantio convencional e sem nenhuma cobertura vegetal, estes fatores influenciaram diretamente nos valores dos índices de estabilidade dos agregados.

Bertol et al. (1997) afirmam em pesquisa, que em geral, as taxas de desagregação foram mais significativas em solos sem cobertura, comparando aos solos com cobertura. Sendo assim, solos com cobertura vegetal, a diminuição do impacto da gota da água e redução do índice de desagregação dos agregados do solo é significativa.

Dedecek (1986) no cultivo de batata em latossolo vermelho amarelo no horizonte AB, encontrou valores de índice de agregação de 90%. Este resultado é explicado pela diminuição da matéria orgânica do solo e pelo uso intensivo da mecanização na área pesquisada.

Os atributos físicos do solo como a densidade e porosidade possuem influência direta com a capacidade de ruptura dos agregados. Com o impacto da gota da chuva ocorre a ruptura do agregado que conseqüentemente preenche os poros na parte superficial do solo, diminuindo a porosidade e aumentando a densidade e a resistência do solo. Assim, o selamento das partículas, facilitando o início do escoamento superficial, possivelmente iniciando o processo de erosão do solo.

### 4.3. Perda de água e solo ao longo do cultivo da cebola

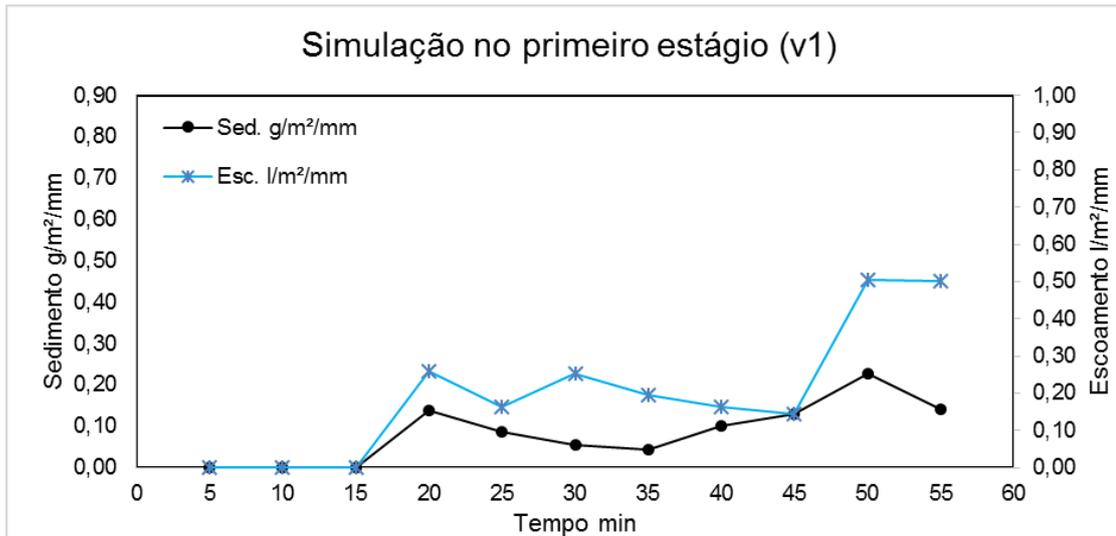
Juntamente com o avanço da agricultura, surgiram problemas de degradação do solo devido a intensificação do uso. Cabe destacar que práticas conservacionistas foram sendo utilizadas na tentativa de reduzir os impactos desse avanço. No entanto, nem todas as áreas agrícolas conseguem acompanhar essa evolução tanto tecnológica quanto conservacionista. Algumas cultivares não se adaptaram com certas práticas conservacionistas como plantio direto por exemplo. Neste contexto, a forma de desenvolvimento com plantio convencional e com solo exposto pode contribuir com os processos erosivos durante o cultivo.

Wischmeier e Smith (1958) descrevem que a erosão hídrica pluvial é consequência da ação da chuva sobre o solo, em decorrência deste fenômeno há a ocorrência de um processo físico de desagregação, transporte e deposição. Conforme a complexidade deste há uma resposta quanto a intensidade e ou energia variável, dependendo também do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e as práticas conservacionistas de suporte.

A exposição do solo ao impacto da gota da água leva ao selamento das partículas diminuindo a infiltração de água, aumentando o escoamento superficial e junto com o escoamento a ocorrência do carregamento de sedimentos, ocasionando assoreamento e contaminação dos mananciais de forma difusa.

Durante as simulações de chuva no cultivo da cebola, observou-se variação significativa na perda de água e solo nas diferentes fases do cultivo. No estágio (V1), o escoamento começou aos 20 minutos após o início da simulação, mantendo entre 0,14 à 0,26 l/m<sup>2</sup>/mm até os 45 minutos. A partir dos 45 minutos observou-se uma alta no escoamento para 0,50 l/m<sup>2</sup>/mm (Figura 10). Em termos de valores absolutos foi observado que as taxas de escoamento foram equivalentes a 20% do volume total da precipitação simulada.

Figura 10. Simulação de chuva na primeira campanha (V1).



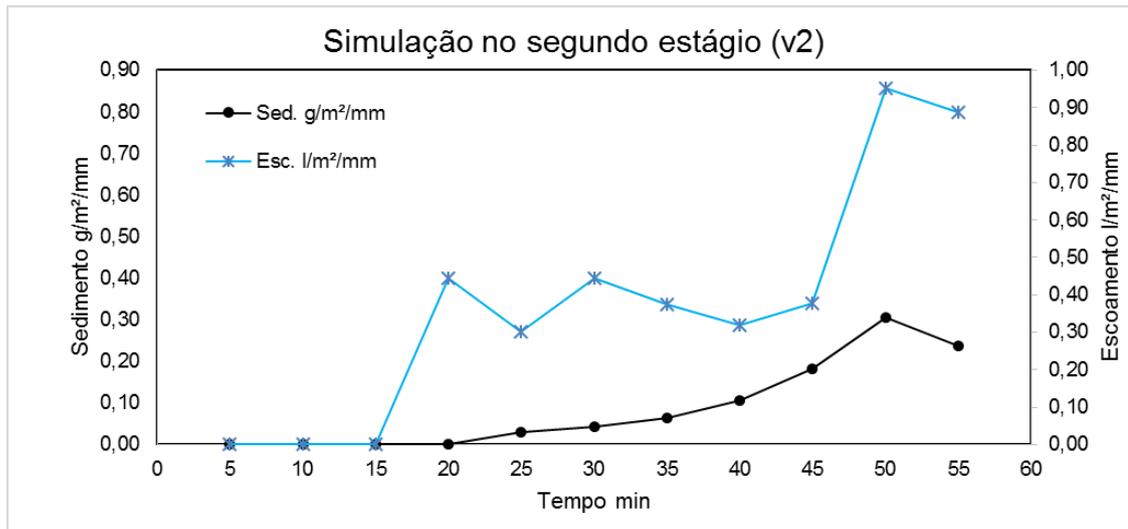
Fonte: A autora (2020).

Os picos de expansão e retração na perda de água e sedimento, podem estar atrelados ao rompimento de poças de represamento, ocasionados pela própria microrugosidade do manejo (torrões, restos de culturas, depressões ou elevações da linha ou entre linha) ou fisiologia da planta.

As perdas de solo tiveram início entre 15 e 20 minutos, com perdas de sedimento de 0,14 g/m<sup>2</sup>/mm, apresentando decréscimo até os 35 minutos para até 0,04 g/m<sup>2</sup>/mm, a partir dos 40 minutos apresentou acréscimo até os 55 minutos de simulação, totalizando uma perda de sedimentos de 0,92 g/m<sup>2</sup>/mm no final da simulação.

No estágio V2 (segunda simulação) o escoamento foi maior que a primeira simulação (Figura 11). Iniciou-se entre os 15 e 20 minutos, mantendo entre 0,30 à 0,45, l/m<sup>2</sup>/mm até os 45 minutos. A partir dos 45 minutos observou-se uma alta no escoamento para 0,95 l/m<sup>2</sup>/mm. Em termos de valores absolutos foi observado que as taxas de escoamento foram equivalentes a 37% do volume total da precipitação, aumentando 17% comparando a taxa de escoamento da primeira simulação.

Figura 11. Simulação de chuva na segunda campanha (V2).

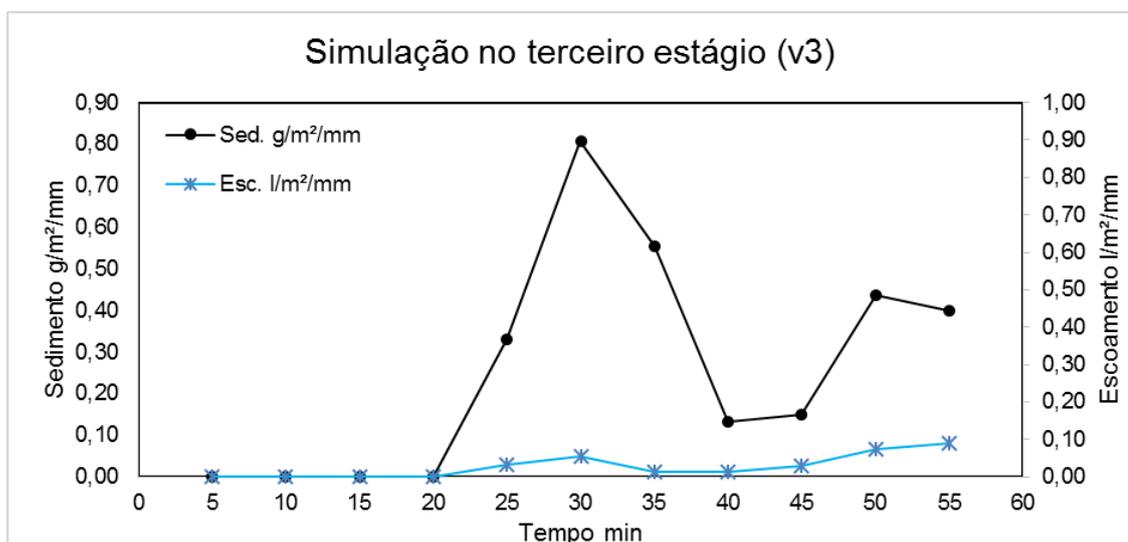


Fonte: A autora (2020).

As perdas de solo tiveram início aos 25 minutos, com perdas de sedimento de 0,03 g/m<sup>2</sup>/mm, mantendo em ascensão até os 50 minutos, chegando em 0,31 g/m<sup>2</sup>/mm, nos últimos 5 minutos apresentando decréscimo para 0,24 g/m<sup>2</sup>/mm, totalizando uma perda de sedimentos de 0,97 g/m<sup>2</sup>/mm no final da simulação.

No estágio V3, o escoamento começou entre os 20 e 25 minutos, mantendo entre 0,01 à 0,05 l/m<sup>2</sup>/mm até os 45 minutos. A partir dos 45 minutos observou-se uma alta no escoamento para 0,09 l/m<sup>2</sup>/mm até o final da simulação (Figura 12). Em termos de valores absolutos foi observado que as taxas de escoamento foram equivalentes a 3% do volume total da precipitação, diminuindo consideravelmente da simulação dos estágios (V1 e V2).

Figura 12. Simulação de chuva na terceira campanha (V3).



Fonte: A autora (2020).

Analisando os três primeiros gráficos observou-se uma inversão nos resultados, onde o escoamento se destacou nos dois primeiros estágios de desenvolvimento da planta. Ao observar o calendário agrícola deve se levar em consideração a quantidade de chuva no primeiro período, onde conforme o acompanhamento do ciclo, no estágio V1 houve chuvas de 142 mm no mês de julho, onde ocorreu encrostamento superficial do solo, dificultando a germinação da semente. Para resolver tal problema, o produtor rural optou em realizar três práticas de irrigação, totalizando mais 60 mm de chuva. Sendo assim, no estágio V1 e V2 a perda de água foi maior que a de sedimento.

No estágio V3 houve uma inversão, isso se deve a ocorrência do desenvolvimento de folhas e raízes, diminuindo o impacto da gota da chuva no solo. As quantidades de irrigações que foram realizadas no estágio V1 e V2 foram de três irrigações por estágio de desenvolvimento com volume total de 60 mm em cada estágio. Deve-se levar em consideração que no estágio V3 houve somente duas irrigações, a precipitação foi de 42 mm, menor comparando com a precipitação do estágio V2, conseqüentemente diminuindo o escoamento superficial.

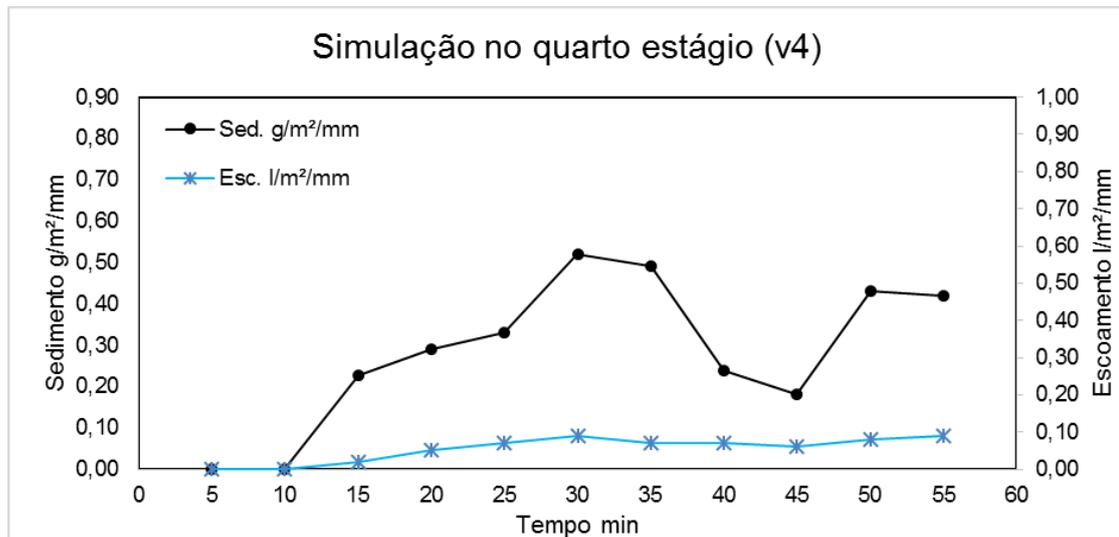
As perdas de solo tiveram início entre 15 e 20 minutos, com perdas de sedimento de 0,33 g/m<sup>2</sup>/mm, tendo uma alta significativa aos 30 minutos de simulação, chegando em 0,81 g/m<sup>2</sup>/mm, posteriormente houve um decréscimo para 0,15g/m<sup>2</sup>/mm, ao final da simulação nos 55 minutos, finalizou com perda de solo de 0,40 g/m<sup>2</sup>/mm. Sendo assim, comparando as três primeiras simulações a terceira teve acréscimo significativo, totalizando uma perda de 2,81 g/m<sup>2</sup>/mm.

A partir da terceira simulação como descrito anteriormente, a taxa de sedimento foi maior comparada a taxa de escoamento, isso se deve a exposição do solo ter diminuído, comparando com os estágios anteriores. Reichert e Cabeda (1992) afirmam que solos com características de sistema convencional sofrem com o fenômeno de erosão hídrica, pois o impacto da gota da chuva acaba desestabilizando os agregados, ocasionando transporte de partículas.

Sendo assim, a taxa de perda de solo vem crescendo desde o primeiro estágio, descrevendo que a forma do manejo escolhida para produção, não é favorável para diminuição da perda do solo.

No estágio V4 o escoamento começou entre os 10 e 15 minutos, mantendo-se em ascensão até o término da simulação, totalizando 0,58 l/m<sup>2</sup>/mm (Figura 13). Em termos de valores absolutos foi observado que as taxas de escoamento foram equivalentes a 5% do volume total da precipitação, diminuindo consideravelmente da simulação dos estágios V1 e V2.

Figura 13. Simulação de chuva na quarta campanha (V4).

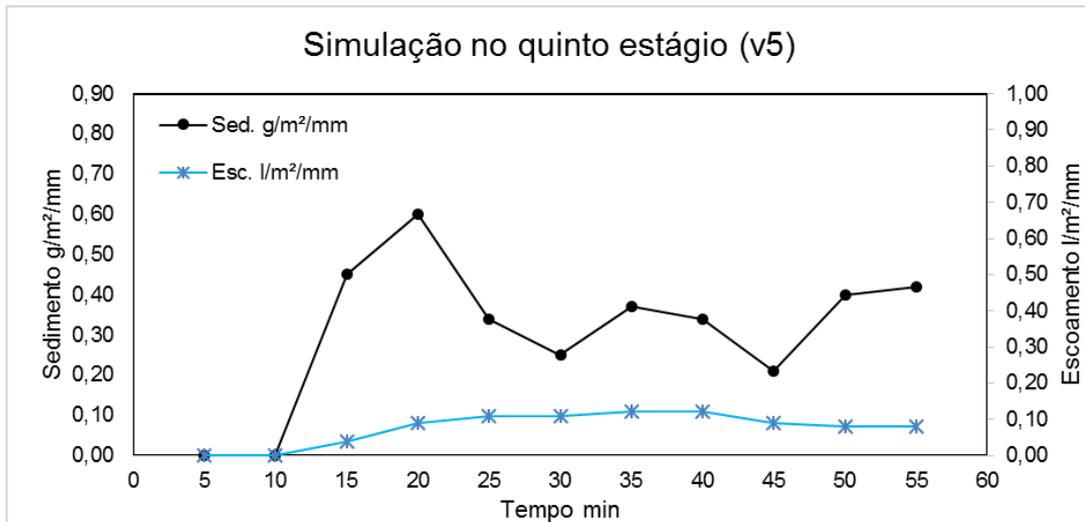


Fonte: A autora (2020).

As perdas de solo tiveram início entre 10 e 15 minutos de simulação, com perdas de sedimentos de 0,23 g/m<sup>2</sup>/mm, tendo uma alta significativa aos 30 minutos de simulação, chegando em 0,52 g/m<sup>2</sup>/mm. Após esse tempo, houve decréscimo para 0,18g/m<sup>2</sup>/mm e ao final da simulação nos 55 minutos, a perda de solo foi de 0,42 g/m<sup>2</sup>/mm. Sendo assim, a quarta simulação teve acréscimo significativo, comparando com a primeira, segunda e terceira simulação, totalizando uma perda de solo de 3,14 g/m<sup>2</sup>/mm.

No estágio V5 o escoamento começou entre 10 e 15 minutos, mantendo-se crescente até os 40 minutos de simulação, com até 0,12 l/m<sup>2</sup>/mm, em seguida apresentou um decréscimo para 0,08 l/m<sup>2</sup>/mm no final da simulação (Figura 14). Em termos de valores absolutos foi observado que as taxas de escoamento foram equivalentes a 8% do volume total da precipitação, sendo maior que nos estágios V3 e V4, mas permanecendo mais baixo que nos estágios da simulação V1 e V2. Esse aumento comparando ao estágio V3 e V4 se deve a quantidade de precipitação que ocorreu nos últimos períodos de desenvolvimento, pois consequentemente o solo estava bastante úmido, o que colaborou para diminuição da infiltração de água e maior escoamento superficial.

Figura 14. Simulação de chuva na quinta campanha (V5).



Fonte: A autora (2020).

As perdas de solo tiveram início entre 10 e 15 minutos, com perdas de sedimento de 0,23 g/m<sup>2</sup>/mm, tendo uma alta significativa aos 30 minutos de simulação, chegando em 0,52 g/m<sup>2</sup>/mm. Na sequência teve um decréscimo para 0,18g/m<sup>2</sup>/mm, ao final da simulação nos 55 minutos a perda de solo foi de 0,42 g/m<sup>2</sup>/mm. Sendo assim, a quinta simulação indicou os maiores valores de perda de solo totalizando 3,4 g/m<sup>2</sup>/mm.

Ao observar a relação de escoamento e a capacidade de erosão, nos estágios V1 e V2, observou-se um aumento de 20% e 37%, quando comparado aos estágios V3, V4 e V5, que apresentou total de escoamento de 3%, 5% e 8%. Isso se deve ao índice de exposição do solo que foi diminuindo conforme o desenvolvimento vegetativo da cultura. Outra questão que deve se levar em consideração é o sistema de plantio, pois o plantio convencional utilizado nessa área para ao cultivo da cebola pode ter influenciado na dinâmica hidroerosiva.

Bertol et al. (1997) corroboram dentro da mesma perspectiva afirmando que, em sistema de plantio convencional, a superfície do solo fica exposta ao impacto da gota da chuva, ocasionando selamento superficial, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo, consequentemente contribuindo para o início do escoamento superficial.

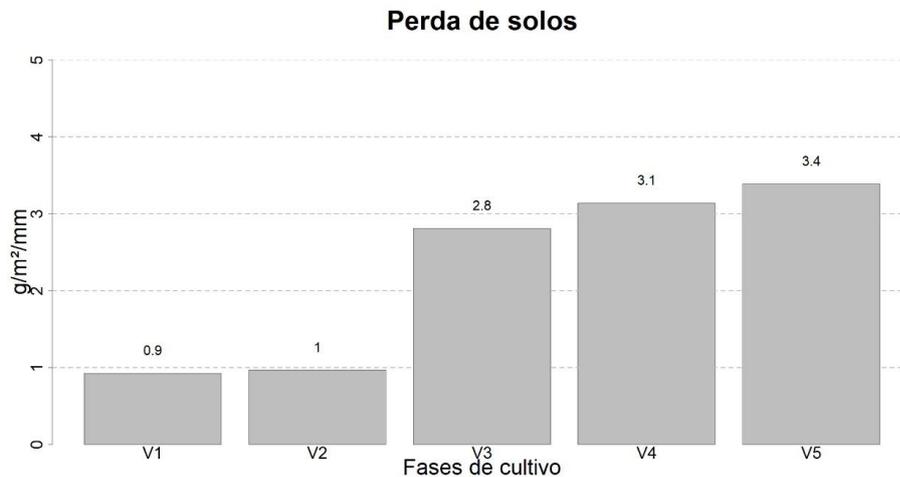
Segundo Cogo et al. (2003) quanto maior a mobilização do solo no seu preparo, como ocorre no sistema de plantio convencional, maior o risco de ocorrência de erosão. Vale ressaltar que a área da pesquisa foi sistema de plantio convencional e no início do ciclo haviam poucos restos culturais. Com isto, o solo estava totalmente revolvido e com mínima barreira protetora vegetal da cultura produzida anteriormente. A maior exposição do solo no início do cultivo

pode ter contribuído com o impacto da gota da chuva no solo, causando selamento das partículas do solo e escoamento superficial.

De Maria (1999) em um comparativo em sistemas de plantio direto e sistema de plantio convencional, descreve que em sistemas de plantio direto observa-se menor erosão, motivando a adoção deste sistema de plantio, que ocasiona menor perda de solo, água e nutrientes.

Para efeito de cálculo de perda total de solo nas diferentes fases do cultivo, foi elaborado uma figura representativa (Figura 15).

Figura 15. Estimativa da perda total de solo ( $\text{g/m}^2/\text{mm}$ ) nos diferentes estágios do cultivo da cebola.



Fonte: A autora (2020).

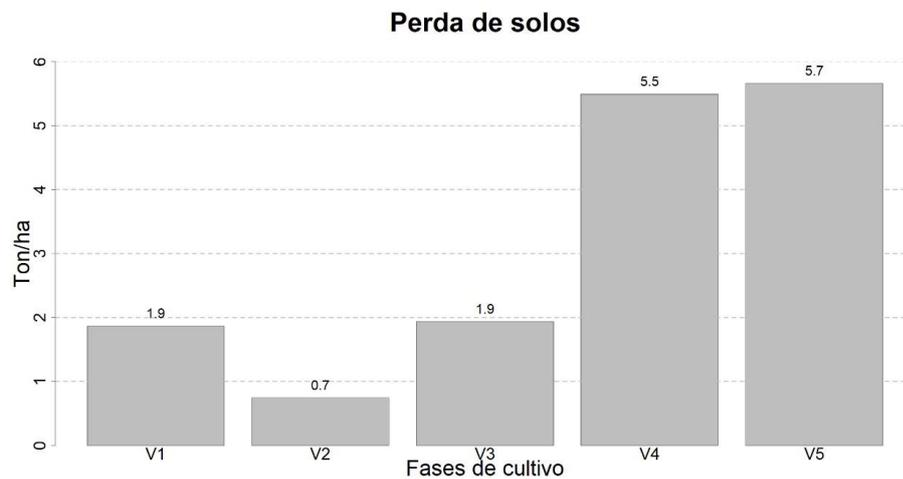
Ao analisar a perda de solo ao longo do desenvolvimento da cebola, observou-se um aumento gradativo em relação as fases da do cultivo. Nas fases V1 e V2, onde a perda de solo foi menor, pode ser explicado, pelo recente preparo do solo, aumentando a rugosidade e consequentemente aumentando a infiltração da água. Nos estágios V3, V4 e V5 a perda de solo foi maior, devido a diminuição da qualidade física do solo ao longo do cultivo. Esses resultados devem-se às condições superficiais do solo, basicamente no que diz respeito a rugosidade, resíduo cultural, sulco, crosta e consolidação do solo (SANTOS, 2007).

Ao analisar os resultados obtidos na perda de solo, destaca-se a importância da utilização de cobertura vegetal na produção da cebola para diminuição por perda de solo por erosão. Visto que, ao realizar plantio com coberturas vegetais o mesmo atua para dissipação de energia da gota da água e reduz o transporte da enxurrada.

Após os resultados obtidos de perda de solo em gramas por metro quadrado por milímetro de chuva, foi realizado uma estimativa da perda total de solos ao longo das fases do cultivo.

A figura 16 apresenta a perda de solo em ton/ha de cada fase do desenvolvimento da cebola, menores perdas de solo foram encontradas nas três primeiras fases. Conforme analisado anteriormente o atributo densidade do solo, pode-se levar em consideração que ao início do ciclo da cebola a densidade estava menor e, conseqüentemente, a porosidade estava maior, contribuindo para o aumento de infiltração de água no solo.

Figura 16. Estimativa da perda total de solo (ton/ha) nos diferentes estágios do cultivo da cebola.



Fonte: A autora (2020).

Ao observar a quantidade de precipitação no início do ciclo, pode-se notar que a quantidade de chuva foi mais significativa, isso se deve a quantidade de chuva precipitada de forma natural e também a quantidade de irrigações. A resistência do solo do solo foi baixa no início do plantio, pelo fato de ter ocorrido preparo do solo, podendo contribuir para melhor infiltração de água e diminuição de perda de solo.

Ao final do ciclo foi observado aumento significativo na densidade, menor porosidade e maior compactação, contribuindo para que ocorresse maior perda de solo, isto pode ser explicado pelo acontecimento do selamento superficial, de modo conseqüente o encrustamento ocorrido pelo impacto da gota da chuva ao longo do cultivo, fazendo com ocorresse maior perda de solo.

Ao final do ciclo da cebola foi estimado o total de erosão do solo de 15,7 toneladas por hectares. Caixeta et al. (2009) descreve que a perda de solo total, durante o ciclo desta cultura em sistema de plantio convencional foi 69% maior comparando com sistema de plantio direto e que a exposição do solo tem influência nos resultados principalmente em períodos onde a precipitação for mais significativa.

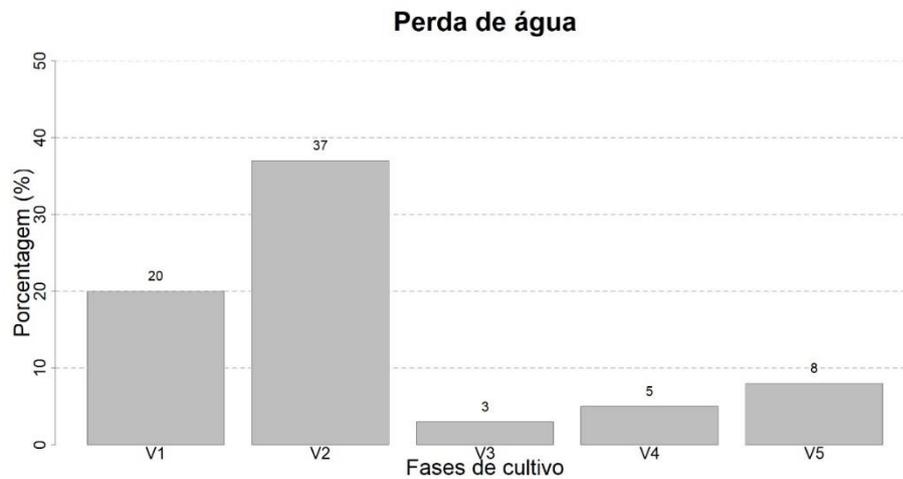
Barros et al. (2015) em pesquisa comparando a relação de perda de solo no cultivo de milho no Agreste Sergipano em 3 anos de pesquisa, verificam que a perda de solo em plantio convencional no primeiro ano foi de 352 kg/ha, no segundo ano, devido período de seca muito intenso apresentou somente 4,7 kg/ha e no terceiro ano apresentou perda de solo de 588 kg/ha. Esses valores são justificados pela quantidade de precipitação que ocorreu no primeiro e terceiro ano, sendo bem maior que a precipitação que ocorreu no segundo, onde no período de desenvolvimento vegetativo do milho houve seca e baixas precipitações.

Resultados de perda de solo no cultivo de milho e feijão sobre chuva simulada, em sistema de plantio convencional encontrados por Leite et al., (2004) indicaram perdas de 0,542 ton/ha para cultivo de milho e de 2,567 t/ha para o cultivo de feijão. Este aumento de perda de solo de uma cultura para a outra pode ser explicado pela degradação do solo, provocado pelo sistema de plantio convencional e também pela diminuição de cobertura de copa na cultura do feijão.

Cogo et al. (2003) encontraram em culturas de aveia e soja em três diferentes declividades, em sistema de plantio convencional perda de solo de 127 kg/ha na cultura de aveia e para a cultura da soja as perdas de solo foram de 11.497 kg/ha, confirmando com os resultados do presente estudo de que quanto maior a declividade, maior são as perdas de solo.

Para efeito de cálculo de perda total de água nas diferentes fases do cultivo, foi elaborado uma figura representativa (Figura 17).

Figura 17. Estimativa da perda total de água (%) nos diferentes estágios do cultivo da cebola.



Fonte: A autora (2020).

No estágio V1 a perda de água no cultivo foi de 20%, mantendo-se em alta até o estágio V2, no V1 o volume de precipitado foi o mais alto, onde somando com as três práticas de irrigação, de 20mm cada, somou um total de 202mm de chuva e irrigação, causando encrostamento na área do plantio, dificultando que ocorresse a germinação. Durante o estágio V2 optou-se em realizar mais três práticas de irrigações, de 20mm cada, para que então a planta começasse a se desenvolver. A porcentagem de perda de água do estágio V2, pode estar relacionada ao encrostamento ocorrido no estágio V1. Em seguida, nos estágios V3, V4 e V5, houve menor perda de água, pois a exposição do solo era menor, o desenvolvimento vegetativo da cebola já estava ocorrendo, diminuindo o impacto da gota da chuva, diminuindo a velocidade da infiltração de água no solo e retardando o processo de escoamento superficial.

Segundo Bertol et al. (2007), a capacidade de infiltração de água no solo é a qual determina o escoamento superficial e pode ser entendida pela capacidade que o solo apresenta em armazenar e infiltrar água. Em seguida, quando o solo atinge o limite de infiltração, ocorre o escoamento invariavelmente (KOHNEKE, 1968).

Caixeta et al. (2009) corroboram que resultados de perdas de água em cultivo de cebola, sobre chuva natural é 36% menor em sistema de plantio direto comparado com sistema de plantio convencional. O autor descreve também que a quantidade de precipitação nem sempre tem ligação direta com a perda água, mas sim, com o estágio de desenvolvimento da cultura e a exposição do solo.

Para o cultivo de aveia e soja em sistema de plantio convencional em três declividades distintas, ao analisar perda de água ao final do ciclo, Cogo et al. (2003) observaram que em área que apresentou maior declividade foram obtidos os maiores valores de perda de água, para a cultura da aveia preta foi de 2,9 mm/h e para cultura da soja 46,9 mm/h.

Ao analisar a perda de água ao longo do desenvolvimento da cebola, observou-se um decréscimo em relação as fases da do cultivo. Nos estágios V1 e V2 o início do escoamento foi entre o tempo de 15 e 20 minutos e no estágio V3 entre 20 e 25 minutos, conseqüentemente a quantidade de água que infiltrou no solo foi maior comparando com os estágios V4 e V5 que teve início entre 10 e 15 minutos.

Tal comportamento pode ser atribuído a inexistência de cultivo e conseqüentemente da ausência de cobertura, com conseqüente exposição do solo ao impacto das gotas de chuva e a enxurrada (BERTOL et al., 2004). Observando os tempos de início de escoamento, pode-se levar em consideração que o tempo do escoamento foi diminuindo. Esta dinâmica pode ser explicada pelo acréscimo da densidade e decréscimo da porosidade, maior compactação e maior estabilidade dos agregados do solo.

Pode-se concluir ao observar o gráfico de perda de água, que nos estágios V1 e V2 houve maior perda de água, se comparado com os estágios V3, V4 e V5, que apresentou decréscimo significativo de até 37 %. Observando o calendário agrícola, levando em consideração que no início do cultivo, o número de irrigações foi maior, comparado com a quantidade de irrigações a partir da terceira fase da campanha, que apresentou um decréscimo significativo, contando também que no estágio V3 a precipitação foi mínima, colaborando para a diminuição de perda de água do solo.

## 5. SÍNTESE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

Ao longo desta pesquisa foi observado que, a dinâmica dos atributos físicos do solo apresentou variação significativa, a qual é atribuída ao sistema de plantio e tratos culturais adotado pelo agricultor na cultura da cebola, ao compreender tal dinâmica, pode-se entender sua interferência na perda de água e solo.

O aumento dos valores de densidade  $1,06 \text{ g/cm}^3$  para  $1,36 \text{ g/cm}^3$ , e de resistência de 2,00 MPa para 3,22 MPa ocorreu devido as formas de manejo adotado, que foram ficando mais intensas conforme o desenvolvimento vegetativo da cultura. Silva (2011) afirma que a intensificação e intervenções no manejo do cultivo do vegetal podem acarretar aumento na densidade e compactação do solo. Deste modo, quanto maior valores de densidade, maior será a compactação do solo e conseqüentemente mais rapidamente indicará processos de degradação.

A porosidade durante o manejo apresentou variação de 9,75 %, os valores no início foram de 59,36 %, apresentando ao longo do ciclo um decréscimo 49,61 %. Sendo assim, quanto menor a porosidade do solo, maior será a densidade, podendo dificultar o desenvolvimento das raízes e crescimento das plantas, conseqüentemente tornando o solo menos produtivo (REINERT et al., 2008).

Os valores de estabilidade de agregados apresentaram um decréscimo de 82,05% para 70,97% ao longo do ciclo, podendo-se concluir que a medida que a densidade e a resistência do solo foi aumentando a porosidade e a estabilidade dos agregados foi reduzindo. A diminuição da estabilidade dos agregados se deve de maneira geral, com a forma que o solo foi manejado durante o cultivo da cebola, principalmente com práticas de irrigações contínuas, que contribuíram para a desagregação do solo, também pela forma do sistema de plantio ser convencional, onde ocorreu grande mobilização do solo e o teor de matéria orgânica presente no mesmo era mínimo.

Coutinho et al., (2010) afirmam que espécies de plantas de cobertura com sistemas de raízes fasciculadas aumentam a estabilidade dos agregados, comparando com plantas de sistema de raízes pivotantes. Casali (2012) afirma que para manutenção e formação de agregados do solo, recomenda-se adotar o consórcio de plantas de raízes fasciculadas e pivotantes.

Neste mesmo contexto, Carpenedo e Mielniczuk (1990) descrevem que o preparo intenso e contínuo do solo, resulta em diminuição da porosidade e aumento da densidade. Desta forma acelera o processo erosivo, causando degradação do solo (BERTOL et al., 2008).

Pode-se descrever, conforme acompanhamento a campo, que a fase da germinação e desenvolvimento vegetativo da cebola representada pelo estágio V1 e V2 apresenta maiores valores de perda de água (figura 16), pois o solo permanecia descoberto, favorecendo o impacto da gota da água no solo, aumentando a densidade e resistência e diminuindo a porosidade.

A partir do estágio V3 que representa a fase do desenvolvimento de bulbos houve uma inversão nos resultados, onde a perda de água teve um decréscimo significativo de 37% (figura 16) para 3%. Neste período, ocorreu o desenvolvimento do bulbo e raízes e a exposição do solo que estava de 95% teve um decréscimo para 62%, resultando no impedimento de perda de água, pois com maior área de cobertura, o impacto da gota de chuva foi diminuindo e conseqüentemente o processo de infiltração de água no solo foi retardado, resultando em menor escoamento superficial. Em contra partida, a perda de solo apresentou uma alta constante a partir do estágio V3 chegando em 5,658 ton/ha no estágio V5.

Durante o cultivo da cebola observou-se valores de maior densidade e resistência do solo, menor porosidade e menores índices de estabilidade dos agregados, mudanças essas que prejudicam a qualidade do solo. A dinâmica destes atributos proporcionou menores taxas de infiltrações de água no solo, ocasionando escoamento superficial. Com a ocorrência do escoamento superficial a água tem maior poder de transporte, potencializando a perda de solos.

Segundo Santos et al. (2010) essas perdas de solo e água causadas por erosão em áreas agrícolas, podem intensificar os prejuízos ambientais, que muitas vezes acabam sendo irreversíveis, como assoreamento e poluições na rede hidrográfica.

Ao acompanhar o manejo da cebola ao longo de todo o ciclo, quantificou-se os atributos físicos do solo e perda de água e solo, possibilitando a seguinte recomendação; para que se ocorra menor impacto ambiental na área, antes do plantio deve-se aderir por práticas conservacionistas para diminuir a erosão e aumentar a fertilidade do solo ao longo de sua utilização, respeitando as características e particularidades da área, como topografia, tipo de solo, presença ou não de corpos hídricos, evitando problemas futuros de assoreamento e conseqüentemente perda da produtividade e biodiversidade local.

Ao escolher a forma de plantio recomenda-se optar pelo sistema de plantio direto, pois o mesmo causa menor mobilização do solo comparando com sistema convencional, proporcionando maiores teores de material orgânico, o que significa uma maior proteção contra os impactos das gotas da chuva, bem como uma maior estruturação, sendo esta a principal função da matéria orgânica para as propriedades do solo, mantendo sua qualidade física e propiciando condições sustentáveis para a produtividade agrícola.

Sabe-se também que a cultura da cebola necessita de grandes quantidades de irrigações na região estudada, mas essa prática deve ser realizada de forma sustentável, para que não ocorra diminuição na qualidade do solo.

Por fim, evitar ao máximo cultivar a mesma cultura por dois anos consecutivos, pois além do agricultor arriscar a obter maior incidência de patógenos, o mesmo estará aumentando de forma acumulativa as degradações ambientais, sendo assim, diminuindo a qualidade e a fertilidade do solo.

## 6. CONCLUSÕES

1. As variações das qualidades físico hídrica do solo ao longo do manejo da cebola tiveram relação com a forma do manejo empregado, demonstrando variações em cada fase de desenvolvimento do vegetal.
2. De modo geral, no decorrer do desenvolvimento da cebola, a densidade foi aumentando, isto se deve a forma de manejo aplicado na área, a exposição do solo e o tráfego de maquinários agrícolas ao longo do cultivo.
3. Para os valores de porosidade do solo, houve um decréscimo ao longo do ciclo, por conseguinte, apesar da forma do manejo adotado ter sido sistema de plantio convencional, houve mínima remobilização do solo, contribuindo para que o espaço poroso diminuísse significativamente.
4. Os valores de resistência do solo também foram aumentando durante o desenvolvimento da cebola, pois para o desenvolvimento da cultura é necessária a prática de irrigação durante todo o ciclo, conseqüentemente alterando a umidade do solo. Também deve se levar em consideração que a aplicação de defensivos é constante durante todo o ciclo do vegetal, sendo assim, essas práticas contribuíram para o aumento da resistência do solo a penetração. Exceto para o estágio V5, onde a cebola já havia sido arrancada e os valores de resistência do solo foram menores comparando com os estágios V3 e V4.
5. Os valores de estabilidade dos agregados foram diminuindo ao longo do cultivo da cebola, devido a mínima remobilização do solo, tempo de exposição do solo e ao impacto da gota da água que contribuíram para desagregação dos agregados, tornando-os mais instáveis, diminuindo a qualidade do solo.
6. As perdas de água do solo tiveram grande relação com a dinâmica dos atributos físicos, de modo geral, pode-se justificar que a perda de água não teve relação com os estágios de desenvolvimento da cebola, mas sim, com a escolha de manejo e a forma que o mesmo foi realizado ao longo do cultivo.
7. As perdas de solo por erosão foram ficando mais significativas ao longo do cultivo, devido a processos naturais, como por exemplo, a quantidade de precipitação e a processos antrópicos como forma de manejo empregado durante o cultivo.

Após análise e relevâncias durante a pesquisa, enfim concluiu-se que, quantificar os atributos físicos do solo e observar a sua dinâmica ao longo do cultivo foi de suma importância

para se compreender o processo de perda de água e solo no cultivo da cebola. Toda e qualquer atividade agrícola realizada de forma equivocada pode causar diminuição na qualidade física do solo a curto e a longo prazo, considerando que as atividades de produção agrícola são realizadas de forma contínua, toda e qualquer tomada decisões erradas, essas práticas podem causar degradação do solo de caráter irreversível.

Ao encerrar o ciclo da pesquisa, ficaram algumas lacunas as quais os eventos meteorológicos podem ter influenciado nos resultados finais, onde ao quantificar os valores dos atributos pesquisados puderam ter interferência no resultado final. Sendo assim, é possível projetar outras pesquisas na mesma área, mantendo a mesma forma de manejo, ou então comparar com outras formas de manejo com a mesma cultura, visto que a cultivo da cebola para a região é considerada como segunda fonte de renda em uma propriedade rural.

Deste modo, é de grande importância os resultados obtidos, seja para a área técnica ou para a sociedade como um todo, trazendo resultados significativos de como ao longo do cultivo há uma alteração nos valores, na dinâmica dos atributos e nas perdas de solo e água, do ponto de vista ambiental e econômico, uma vez que a perda da qualidade do solo gera custos a curto e longo prazo para todos os envolvidos no setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Lages, v.25, p.717-723, 2001.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S. & SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **R. Bras. Ci. Solo**, V.31, P.617-625, 2007.
- AMADO, T, J, C.; CONCEIÇÃO, P, C.; BAYER, C.; ELTZ, F, L, F. Qualidade do solo avaliada pelo “Soil Quality Kit Test” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.109-121, 2007.
- AMADO, T, J, C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p. 34-42, 2005.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
- ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDRES, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.;
- ANDRADE, A. G. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 25-40, 2010.
- ANTONELI, V. Dinâmica do uso da terra e a produção de sedimentos em diferentes áreas fontes na bacia hidrográfica do arroio boa vista- Guamiranga-pr. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba, 2011.
- ANTONELI, V.; MAZUR, E, J. Mudanças nas paisagens agrícolas por meio das diferentes formas de cultivo do tabaco. **Geographia Meridionalis**. Pelotas, p.147-167, 2019.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.425-435, 2005.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. Solos e Ambiente: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100p.

BAHIA, V.G.; CURI, N.; CARMO, D.; MARQUES, J.J.G.M.M. Fundamentos de erosão do solo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

BALL-COELHO, B.R.; ROY, R.C. & SWANTON, C.J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. **Soil Till. Res.**, v.45, p.237-249, 1998.

BARROS, I.; PACHECO, E, P.; CARVALHO, H, W, L.; CINTRA, F, L, D.; SILVA, J, M, L.; DANTAS, E, N.; SOARES, T, F, S, N. Perdas de solo e água em sistema de cultivo de milho no Agreste Sergipano. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, p.24, 2015.

BARROS, L.S.; VALE JÚNIOR, J.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. & MOURÃO, M. Perdas de solo e água em plantio de Acácia mangium Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.235-475, 2009.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Sci. Agric.**, v.58, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; COGO, N, P.; SCHICK, J, C.; GUDAGNIN, J, C.; AMARAL, A, J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.133-142, 2007.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.409-418, 1997.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.485-494, 2004.

BERTOL, I.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A.; FABIAN, E.L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R. & PAZ GONZÁLEZ, A. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas

variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.747-757, 2008.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; SÃO JOÃO, A.C.G. & FREDDI, O.S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **R. Bras. Ci Solo**, v.31, p.1223-1232, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.843-849, 2005.

BEWLEY, D.; BLACK. *Physiology of Development end Germination*. Edição: 2. New York. Springer Science, 1994.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.975-983, 2008.

BLUM, E.H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A. *Methods for assessment of soil degradation*. New York, CRC Press, 1997, p.1-16, 1997.

BOCHNER, J, K.; FERNANDES, M, M.; PEREIRA, M, G.; BALIEIRO, F, C.; SANTANA, I, K, S. Matéria orgânica e agregação de um planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, v.14, p.46-53,2008.

BOEING, G. Fatores que afetam a qualidade da cebola na agricultura familiar catarinense. Florianópolis, Instituto CEPA/SC, 2002, p.80.

BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 7.ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRANDÃO, E.D.; DA SILVA, I.F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ci. Rural**, v.42, p.1193-1199, 2012.

BRAUN, W.A. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **R. Bras. Geografia**, v.4, p.591-642, 1961.

BREWSTER, J. *Onions end other Vegetable Alliums*. Edição: 2. Cambridge. Crop production science in horticulture series, 2008.

CAIXETA, R.P., ALCÂNTARA, F, A.; MADEIRA, N, R.; ABDALLA, R, P. Perdas de água, solo, nutrientes e matéria orgânica em área cultivadas com cebola sob diferentes sistemas de manejo de solo. **Embrapa Hortaliças**, p.20, 2009.

CAMARGO, ESTEFÂNIA SILVA. **Manejo Conservacionista do Solo e Rotação de Cultura para Cebola**. 80f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina UDESC, Lages, 2011.

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

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CARVALHO, D. F.; SOUZA, W, J.; PINTO, M, F.; OLIVEIRA, J, R.; GUERRA, J, G, M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.4, p. 708-117, 2012.

CARVALHO, D.F. de; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.7-14, 2005.

CASALI, C.C. Sistemas de culturas sob diferentes manejos por longa duração alteram as formas de fósforo do solo?. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras.Ci. Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CEPA. Centro de Socioeconômico e Planejamento agrícola. **Instituto Cepa/SC**, 2002. Disponível em < <https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/produtos/acompanhamento-de-safras/> Acesso: 20/12/2019.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.743-753, 2003.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O. & SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, p.961-974, 2009.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; RODRIGUES JUNIOR, D.J.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto, Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.100-105, 2010.

DA SILVA, A.P.; IM HOFF, S. & KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Sci. Agric.**,v.61, p.451-456, 2004.

DA SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, p.451-456, 2004.

DE MARIA, I. C. **Erosão e terraços em plantio direto**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.17-22, 1999.

DEDECEK, R.A. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, p.265-72, 1986.

DEUBER, R.; FORNASTER, J. B.; LISBÃO, R. S. Efeitos de diferentes herbicidas nas culturas de alho e cebola. **Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas**, v.42, p.121-129, 1983.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Till. Res.**,v.11, p.199-238, 1988.

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, v.15, p.3-11, 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo da Cebola no Nordeste. Embrapa Semi-Árido Sistema de produção**, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/162405/1/Cultivodacebola.pdf>> Acesso em: 14/07/2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**, 2006. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicadoresIDu1keja1HAN.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresIDu1keja1HAN.pdf)> Acesso em: 17/09/2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manejo e Conservação do Solo e da Água em Sistema de Plantio Direto no Cerrado**, 2009. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/747825> > Acesso em: 16/07/2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**, 2018. Disponível em: < [file:///C:/Users/User/Downloads/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004%20(1).pdf) > Acesso em: 18/09/2020.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Sistema de Produção para Cebola, 2013. Disponível em: < [http://circam.epagri.sc.gov.br/circam\\_arquivos/arquivos/cebola/acervo/sistema\\_producao\\_cebola\\_sc.pdf](http://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/arquivos/cebola/acervo/sistema_producao_cebola_sc.pdf) > Acesso em: 16/07/2020.

FACHIN, P.A.; WOUK, T., PEREIRA, A.A.; THOMAZ, E.L. O efeito da queimada na condutividade hidráulica do solo em agricultura de roça detoco. **Geoambiente On-line**,2016. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/42251>.

FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura **FAO Statistical Yearbook 2013 World Food and Agriculture**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3107e/i3107e.pdf> Acesso em: 24/07/2020.

FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.146- 151, 2008.

FILHO, J. T; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 487-494, 2008.

FONTANETTO, H.; KELLER, O. Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un argiudol. In: DÍAZ ROSSELLO, R. Siembra directa em el Cono Sur. Montevideo, Uruguay: PROCISUR, p. 275-287, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Banco de dados**. Roma: FAO, 2017.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. 2001. 252f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GUERRA, J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação de solos: conceito, temas e aplicações. 6. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 340p.

GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. & DEFRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. **Adv. Agron.**, v.42, p.311-338, 1989.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Issue, v.82, p.121-145, 2005.

HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S.; STEPHEN. R. C. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.77-87, 1991.

HELALIA, A. M.; LETEY, J.; GRAHAM, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, v.52, p.251-255, 1988.

IAC. Instituto Agrônomo do Paraná. **Calagem e Adubação da Cebola (*Allium cepa L.*)**, 2014. Disponível em: < [http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/95.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/95.pdf) > Acesso em: 14/07/2020.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Classificação climática**, 2018. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533> > Acesso em: 18/09/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção agrícola municipal. 2009. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil> Acesso em: 24/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E Estatística (IBGE), 2018. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/irati/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, R. B. Resistência do solo a penetração e ao cisalhamento em diferentes usos do solo em áreas de preservação permanente. **Biosci.**, J.Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 185-195, Mar. 2012.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.61, p.4-10, 1997.

KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, p.511-519, 1965.

KEMPER, W.D.; W.S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, p.499-510, 1965.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações solo planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 276p.

KIELING, A, S.; COMIN, J, J.; FAYAD, J, A.; LANA, M, A.; LOVATO, P, E. Plantas de cobertura de inverno sistema de plantio direto de hortaliças sem herbicidas: efeitos sobre plantas espontâneas e na produção de tomate. **Ciência Rural**, v.39, p.2207-2209, 2009.

KLEIN, V., A. Física Do Solo. 2 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **R. Ci. Agron.**, v.5, p.26-32, 2006.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 3ed. 263p. 2014.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ci. Rural**, v.32, p.120-128, 2002.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.

KURTZ, C.; MENEZES JÚNIOR, F.O.G.; HIGASHIKAWA, F.S. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da cebola. Florianópolis: Epagri, 2018. p.104 (Epagri, **Boletim Técnico**, 184.) Disponível em: <  
[http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram\\_arquivos/arquivos/cebola/acervo/Boletim\\_Tecnico\\_184\\_Adubacao\\_e\\_nutricao\\_de\\_cebola.pdf](http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/cebola/acervo/Boletim_Tecnico_184_Adubacao_e_nutricao_de_cebola.pdf) >. Acesso em: 15 fev 2019.

KURTZ, CLAUDINEI. **Acúmulos de nutrientes e métodos de diagnose nutricional de nitrogênio para a cultura da cebola**. 96f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal do Paraná UFPR, Curitiba, 2015.

LAL, R. Soil quality and sustainability. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A. Methods for assessment of soil degradation. New York, **CRC Press**, p.17-30, 1997.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de água e solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1033- 1044, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, v.1, p.277-294, 1985.

LIMA, M, R., SIRTOLI, A, E. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo:** aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. 341 p.

LOPES, S, A. Instituto da Potassa & Fosfato. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo / Tradução e adaptação de Alfredo Scheid.** 2 ed. Piracicaba: POTAFOS. 1998. 177p.

LOSS, A., BASSO, A.; OLIVEIRA, B, S.; KOUCHER, L, P.; OLIVEIRA, R, A.; KURTZ, C.; LOVATO, P, E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIM, J, J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 1212-1224, 2015.

MALUF, W.R. Melhoramento da Cebola (*Allium cepa L.*). Lavras. UFLA, 1999.

MANFRON, A.P.; GARCIA.C.D.; ANDRIOLO.J.L. Aspectos morfofisiológicos da cebola. **Ciência Rural**, v.1, p. 101- 107, 1992.

MARCOLIN, C.D. & KLEIN, V.A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Sci. Agron.**,v. 33, p.349-354, 2011.

MARCOLIN, C.D. & KLEIN, V.A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Sci. Agron.**, v.33, p.349-354, 2011.

MAY, A.; CECÍLIO FILHO, A.B.; PORTO, D.R.Q.; VARGAS, P.F. & BARBOSA, J.C. Acúmulo de macronutrientes por duas cultivares de cebola produzidas em sistema de semeadura direta. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.53-59, 2008.

MELO, J. A. B. de; PEREIRA, R. A.; DANTAS NETO, J.; LIMA, E. R. V. de. Propriedades do solo e propensão à desertificação na Microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v5, n2, p. 234-246.2010.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASO, 1999, Aracaju, SE. Anais: Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. V.3, p.209-248.

MORAIS, C. C.; ARAUJO, S. H.; FACTOR, L. T.; PURQUERIO, V.F. Fenologia e acumulação de nutrientes por cebola de dia curto em semeadura direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.2, p. 281-290, 2016.

MUNDY, C.; CREAMER, N. G.; CROZIER, C. R.; WILSON, L. G.; MORSE, R. D. Soil MURAYAMA, S., **Horticultura**. 2. Ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 321p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.291-299, 2003.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.901-909, 2004.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; MOREIRA, A.P.; MAFFINI, G.F.; MELLER, A. & DILL, P.R.J. Evolução de processo erosivo acelerado em trecho do Arroio Vacacaí Mirim. **R. Bras. Rec. Hídr.**, v.6, p.129-135, 2001.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.261-268, 2006.

PAULETT, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um latossolo sob sistema de plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 581-590, 2009.

PEREIRA, J.S.; JESSUS, T. S.; OLSZEWSKI, D.; MESNDES, A. M. S.; GRANJA, G. P. Porosidade e densidade do solo sob uso agrícola no município de Sobradinho- BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34.; Florianópolis, 2013. Anais. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, vol.34 no.5, p. 1515-1526, Setembro/Outubro 2010.  
physical properties and potato yield in no-till, subsurface-till, and conventional-till systems. **HortTechnology**, Alexandria, v. 9, n. 1, p. 240-247, 1999.

RANIERI, S. B. L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 751-760, 1998.

REGHIN, M. Y.; DALLA PRIA, M.; VINNE, J. V. D.; Cultivo de cebola na palhada e no Sistema convencional. In: Congresso Brasileiro de Olericultura. **Horticultura Brasil**, v.21, p. 43, 2003.

REICHARDT; TIMM, 2012. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, ed.2, p.524, 2012.

REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S. Salpico de partículas e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.3, p.390-396, 1992.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. v.5. p.49-134.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; MARTIN, M.C.A. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, 2008.

ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F, M.; SALTON, J, C. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 304, 2006.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.821-828, 1999.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M. & CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.34, p.821-828, 1999.

SANTOS, EMANUEL ERNESTO FERNANDES. **Acúmulo de nutrientes e relação ca:mg no cultivo da Cebola, no Submédio São Francisco**. 155f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômica UNESP, Botucatu, 2007.

SANTOS, G. S.; NORI, P. G. OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.115-123, 2010.

SANTOS, Maria Aparecida do Nascimento. **Erosão hídrica visando obtenção de valores do subfator PLU da RUSLE** – Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017. 150 p.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB) e Departamento de Economia Rural Olerícola (DERAL). Olericultura- Análise da Conjuntura Agropecuária. Paraná, 2018.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; INHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1-10, 2008.

SILVA, I, F.; MIELNICZUK, J. Sistema de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.22, p.311-317, 1998.

SILVA, M.L.N.; CURI, N. & BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, V.35, P.2485-2492, 2000.

SILVA, S. G. C. Variação temporal da densidade do solo e do grau de compactação de um latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Dissertação (mestrado)**, p. 65, 2011.

SILVEIRA, P. M. da; SILVA, O. F. da; STONE, L. F.; SILVA, J. G. da. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 2, p. 257-263, 2001.

SINGER, M.J. & EWING, S. **Soil quality**. In: SUMMER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. p.271-298, 2000.

SOANE, B.D.; BLACKWELL, P.S.; DICKSON, J.W. & PAINER, D.J. Compaction by agricultural vehicles: A review. I - soil and wheel characteristics. **Soil Till. Res.**, v.16, p.207-237, 1981.

SPOSITO, G. & ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma, Amsterdam**, v. 114, p. 143-144, 2003.

STEFANOSK, D. C. S. G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-1309, 2013.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C; SILVA L. G da; SILVA, L. C. F.da; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto Stolf - Programa Computacional de dados em EXCEL-VBA **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.38 n.3,2014.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A.A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.487-494, 2008.

UPOV. Guidelines for conduct of test for distinctness, uniformity and stability of *Allium cepa* and *Allium ascalonicum*. Genebra: UPOV, 1999. 40 p.

VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VIDIGAL, S.M.; MOREIRA, M.A.; PEREIRA, P.R.G. Crescimento e absorção de nutrientes pela planta cebola cultivada no verão por semeadura direta e por transplântio de mudas. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 59-70, 2010.

VIDIGAL, S.M.; PEREIRA, P.R.G.; PACHECO, D.D. & FACION, C.E. Acumulação de matéria fresca e seca pela cebola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43. Resumos... Recife: SOB, 2003 (CD-ROM).

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M. & BORGES, E.N. Density, porosity and soil aggregation in areas of cerrado conversion in pine forest, pasture and no-tillage. **Biosci. J.**,v.28, p.256-265, 2012.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Union**, v.39, p.285-291, 1958.