

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DAIANA RAQUEL PAULETTI

**INFLUÊNCIA DAS PLANTAS DE COBERTURA NAS CARACTERÍSTICAS
PRODUTIVAS DA ALFACE E NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.**

**Marechal Cândido Rondon
2012**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DAIANA RAQUEL PAULETTI

**INFLUÊNCIA DAS PLANTAS DE COBERTURA NAS CARACTERÍSTICAS
PRODUTIVAS DA ALFACE E NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Profª. Dra. Márcia de Moraes Echer
Co-orientadores: Prof . Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Profª. Dra. Maritane Prior

**Marechal Cândido Rondon
2012**

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Odino e Maria Stela Paletti e ao
meu irmão André Paletti, pelo amor e confiança.*

A todos os meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me fortalece e nunca me deixou desistir dos meus ideais.

À minha família, pelo apoio incondicional, pelas palavras de conforto e compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus queridos pais Odino Pauletti e Maria Stela Pauletti pelo incentivo e auxílio na condução dos trabalhos.

A Cristiano Araujo e a André Pauletti pelo carinho, amor e ajuda na realização desta dissertação.

A Professora Dra. Márcia de Moraes Echer pela orientação e estímulo para o prosseguimento deste trabalho, pela atenção, dedicação e paciência.

Aos Professores Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e Maritane Prior pelo apoio, conversas e discussões no processo de elaboração desta Dissertação.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, através do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Aos Professores Cláudio Tsutsumi, Edleusa Pereira Seidel e Emerson Fey pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas, e aqueles que podemos chamar de amigos verdadeiros da Pós-Graduação pela amizade e pelos bons momentos de convivência.

Enfim, a todos que colaboraram para minha formação pessoal e profissional, meus sinceros agradecimentos.

"Sei que o meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele, o oceano seria menor."

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

A cobertura morta contribui para melhoria dos componentes físicos e químicos do solo e beneficia o sistema de produção agrícola. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das plantas de cobertura nas características produtivas da alface em cultivo sucessivo, e nos atributos físicos e químicos do solo. A pesquisa foi realizada no período de junho de 2010 a fevereiro de 2011, no município de Santa Helena - Paraná. O experimento foi conduzido em duas etapas, a primeira etapa constou do cultivo das plantas de cobertura até atingirem ponto de corte, e a segunda etapa consistiu na condução de dois ciclos consecutivos da cultura da alface, sobre a palhada produzida. Utilizou-se delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas compostas pelas plantas de cobertura aveia (*Avena strigosa* Schreb), milho (*Pennisetum glaucum* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.), feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) e testemunha (sem cobertura, em pousio com controle das plantas espontâneas), as subparcelas constituídas pelas cultivares de alface (Vanda e Verônica) e a subsubparcela pelos ciclos de cultivo da alface (primeiro e segundo ciclo). A cultura da alface foi avaliada quanto a altura da planta, diâmetro da cabeça, número de folhas, massa fresca e seca de caule e folhas, área foliar, massa aérea total (folhas + caule), diâmetro do caule e projeção da copa. Para as plantas de cobertura foram determinados a massa fresca e seca da parte aérea. Durante a condução do experimento foram avaliados também, os atributos físicos (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade e resistência a penetração) e químicos (pH, P, K, Ca⁺², Mg⁺², H+Al, soma de bases, saturação por bases e matéria orgânica) do solo da área experimental, em duas profundidades e três épocas de avaliação. A presença da cobertura morta beneficiou o cultivo da alface no primeiro ciclo de cultivo. A cultivar Verônica foi superior a cultivar Vanda nas condições do estudo. O milho destacou-se como planta de cobertura pelo excelente potencial na produção de biomassa. A porcentagem de macroporos apresentou-se acima da exigência mínima (10%) necessária ao adequado desenvolvimento radicular das culturas. A microporosidade aumentou com a profundidade de amostragem, enquanto a macroporosidade diminuiu. O percentual de umidade do solo foi proporcional a quantidade de massa fresca produzida pelas plantas de cobertura. O tratamento composto pela cobertura de feijão vagem e a testemunha de forma geral apresentaram maiores valores de resistência do solo a penetração. Quanto aos atributos químicos do solo observou-se acúmulo de P na camada superficial do solo, a acidez potencial (H+Al) apresentou um aumento com o decorrer das épocas de avaliação enquanto o pH apresentou certa redução com as épocas. Não foi verificada diferença significativa para os teores de matéria orgânica, porém estes foram maiores na camada superficial.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., plantas de cobertura, propriedade físicas, propriedades químicas.

ABSTRACT

INFLUENCE OF COVERING PLANTS IN THE CHARACTERISTICS OF LETTUCE PRODUCTION AND CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN SOIL.

A soil mulching change soil physical and chemical compounds and promotes benefits to lettuce production system. This study aimed to evaluate the effect of mulching on the yield characteristics of lettuce and continuous cultivation of these effects in the physical and chemical soil properties. The aim of this work was conducted from June 2010 to February 2011, in Santa Helena - Paraná. The experiment was conducted in two stages; the first step consisted of growing covering plants until they reach a cutoff point, initiating the second step consisting in the conduct of two consecutive cycles of the lettuce crop, produced on straw. The experiment was conducted in a randomized complete block design in split-split plots with four replications, the plots consist covering plants: oat (*Avena strigosa* Schreb), pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), turnip (*Raphanus sativus* L. var. *Oleiferus* Metzg), snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and control (bare soil), the sub plots of lettuce cultivars (Vanda and Veronica) and subplot the lettuce crop cycles (first and second cycle). The lettuce was evaluated for plant height, head diameter, leaf number, fresh and dry mass of stems and leaves, leaf area, total dry weight (leaves + stem), stem diameter and crown projection. For cover covering were determined fresh and dry shoot. During the experiment were also evaluated, the physical attributes (density, macroporosity, micro porosity, total porosity, and resistance to moisture penetration) and chemical (pH, P, K, Ca⁺², Mg⁺², H + Al, sum of bases, base saturation and organic matter), the experimental area, at two depths and three sampling times. The presence of mulch benefited growing lettuce in the first cycle. The cultivar was superior to cultivate Veronica Vanda conditions of the study. The development of the lettuce crop was damaged due to high temperatures during the period of cultivation of the crop. The millet stood out as cover crop for the excellent potential for biomass. The percentage of macropores appeared above the minimum requirement (10%) required for proper root development of crops. The microporosity increased with the sampling depth, while the macroporosity decreased. The percentage soil moisture was proportional to the amount of weight produced by covering plants. As for soil chemical properties observed accumulation of P in the soil surface layer, the potential acidity (H + Al) tended to increase during the evaluation periods while pH showed some decrease with age, it was not found a significant difference to the levels of organic matter but they were higher in the surface layer.

Keywords: *Lactuca sativa* L., covering plants, physical properties, chemical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura mínima, máxima e média mensal no período de junho/2010 a fevereiro/2011. Estação Meteorológica do Simepar. Santa Helena - PR.....	32
Figura 2: Esquema da condução do experimento.....	33
Figura 3: Preparo inicial do solo; calagem (A), encanteiramento (B), canteiros preparados para semeadura das plantas de cobertura (C). Santa Helena - PR, 2010.....	34
Figura 4: Resistência do solo à penetração após o manejo das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.	49
Figura 5: Resistência do solo à penetração após o primeiro ciclo de cultivo da alface, em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.	50
Figura 6: Resistência do solo à penetração após o segundo ciclo de cultivo da alface, em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR ,2010/2011.	51
Figura 7: Umidade do solo sob cobertura morta de milho, aveia, nabo, feijão vagem e sem cobertura (testemunha). Santa Helena - PR, 2010/2011.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas do solo da área experimental, na profundidade de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, e análise textural. Santa Helena - PR, 2010.....	31
Tabela 2: Valores médios de massa fresca e seca das plantas de cobertura. Santa Helena, - PR, 2010/2011.....	40
Tabela 3: Massa fresca de folhas (MFF), massa fresca da parte aérea (MFA) e massa seca de caule (MSC) de alface cultivada sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	42
Tabela 4: Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DCA), massa seca de caule (MSC) e de alface cultivares Vanda e Verônica cultivadas sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	43
Tabela 5: Projeção da copa (PC), massa seca de folhas (MSF) e aérea (MSA), área foliar (AF) e número de folhas (NF) de alface cultivadas sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	44
Tabela 6: Porosidade total, microporos, macroporos e densidade do solo cultivado com diferentes plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	45
Tabela 7: Porosidade total, macroporos e densidade do solo em diferentes épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	46
Tabela 8: Microporosidade do solo em diferentes épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	47
Tabela 9: Microporosidade do solo nas profundidades 0 - 10 cm e 10 - 20 cm.Santa Helena PR, 2010/2011.....	48
Tabela 10: Umidade do solo em função das épocas e profundidades de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	53
Tabela 11: Valores de pH (CaCl ₂) do solo em função das plantas de cobertura e épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	55
Tabela 12: Valores médios de potássio (K), cálcio (Ca) e soma de bases (SB), submetidos a diferentes épocas de amostragem. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	56
Tabela 13: Fósforo (P), potássio (K) e acidez potencial (H + Al) do solo em função das plantas de cobertura e profundidades de amostragem. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	57

Tabela 14: Valores de Fósforo (P), pH (CaCl ₂), acidez potencial (H + Al), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) do solo em função das profundidades e épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	58
Tabela 15: Matéria orgânica (MO) do solo em função das profundidades de amostragem e em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A Cultura da Alface	14
2.2 Plantio direto e a produção de hortaliças.....	15
2.3 Plantas de cobertura e a influencia nas características do solo	18
2.4 Escolha das plantas de cobertura	25
2.4.1 Nabo forrageiro.....	27
2.4.2 Milheto.....	28
2.4.3 Aveia-preta.....	29
2.4.4 Feijão-vagem	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização da área experimental.....	31
3.1.1 Localização	31
3.1.2 Solo	31
3.1.3 Clima.....	31
3.2 Delineamento experimental.....	32
3.3 Instalação e condução do experimento.....	33
3.3.1 Primeira etapa	33
3.3.2 Segunda etapa	34
3.4 Parâmetros avaliados.....	35
3.4.1 Parâmetros avaliados para as plantas de cobertura.....	35
3.4.2 Características produtivas da cultura da alface.....	36
3.4.3 Parâmetros avaliados para o solo.....	36
3.5 Análise estatística	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 Avaliações das plantas de cobertura.....	40
4.1.1 Produção de biomassa.....	40
4.2 Características produtivas da cultura da alface.....	41
4.3 Avaliações dos parâmetros relacionados ao solo.....	45
4.3.1 Atributos físicos do solo	45

4.3.2 Atributos químicos do solo	54
5 CONCLUSÕES.....	62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
7 ANEXOS.....	77

1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças é uma atividade que ocupa lugar de destaque na economia e agricultura brasileira, sendo que a alface é a principal hortaliça folhosa comercializada e consumida pela população, pela facilidade de aquisição e por ser produzida durante o ano inteiro. Em algumas centrais de distribuição, o conjunto das espécies de alface representa quase 50% de todas as folhosas que são comercializadas e, dentre essas, a crespa corresponde a cerca de 70% do total (OLIVEIRA et al., 2004).

Atualmente, um dos grandes problemas na produção mundial de alimentos está no gerenciamento dos recursos naturais disponíveis e na sustentabilidade dos ecossistemas produtivos. Práticas agrícolas têm sido desenvolvidas para reduzir a aplicação de insumos químicos e minimizar as agressões ao meio ambiente, produzindo alimentos mais saudáveis e ecologicamente corretos (SILVA et al., 2011). Sistemas de agricultura alternativa de produção estão sendo cada vez mais utilizados, inclusive no cultivo de hortaliças, porém estudos englobando características da espécie, limitações, bem como a viabilidade econômica e ambiental do sistema merecem avaliação, especialmente antes da implantação.

Em diversas regiões do Brasil está sendo difundida a adoção do sistema de plantio direto de hortaliças, que pressupõe a cobertura permanente do solo utilizando-se cultivos comerciais ou mesmo culturas de cobertura do solo, e proporciona benefícios como o aumento da população de artrópodes e microfauna benéficos, a estocagem de carbono, diminuição de infestação de plantas espontâneas, menor resistência à penetração no solo, menor oscilação da temperatura do solo, maior economia de água, além de melhorar a química do solo (FONTES, 2005). Segundo Muller (1991), na produção da alface, especialmente durante o verão, estas vantagens permitem a obtenção de um produto de melhor qualidade.

Ainda há pouco conhecimento sobre características importantes das plantas de cobertura como produção de fitomassa, assim como seus efeitos no desenvolvimento da cultura comercial e nas características do solo. Além disso, as espécies utilizadas para este fim devem produzir uma grande quantidade de massa seca, possuir elevada taxa de crescimento, apresentar certa resistência à seca e ao frio, não infestar áreas, ser de fácil manejo, ter sistema radicular vigoroso e profundo, ter elevada capacidade de reciclar nutrientes, ser de fácil produção, apresentar elevada relação C/N, entre outras (GASSEN e GASSEN, 1996).

De forma geral entende-se, que o plantio direto de hortaliças é uma importante ferramenta para atingir a meta da produção sustentável. Portanto, há necessidade de se

conhecer o modo correto de manejo desse sistema, inclusive em relação a escolha de plantas de cobertura do solo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos estudar o efeito de diferentes plantas de cobertura nas características produtivas da alface em cultivo sucessivo e verificar as mudanças nos atributos físicos e químicos do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Cultura da Alface

A alface (*Lactuca sativa* L), pertencente à família Asteraceae, originou-se de espécies silvestres ainda encontradas atualmente em regiões de clima temperado no sul da Europa e na Ásia Ocidental, sendo introduzida no Brasil no ano de 1647 com a vinda dos portugueses (FILGUEIRA, 2003).

Encontram-se cultivos de alface em todas as regiões brasileiras, sendo componente básico de saladas tanto em nível doméstico quanto comercial que se deve a fatores como sabor, qualidade nutricional e preço reduzido no mercado, fazendo desta hortaliça folhosa a mais consumida no país. Atualmente a preferência predominante no Brasil é pelo tipo crespa, cuja participação atende 70% do mercado consumidor dessa folhosa (OLIVEIRA et al., 2004), o tipo americana detém 15%, lisa 10% e as demais correspondem a 5% do mercado consumidor (SALA e COSTA, 2005).

Os estados de São Paulo e Minas Gerais são os maiores produtores de alface do país. Somente o estado de São Paulo plantou 6.570 hectares em 2006, produzindo 129.077 toneladas, sendo os municípios de Mogi das Cruzes, Biritiba Mirim, Salesópolis e Suzano, que compõem o chamado cinturão verde nas proximidades da capital do Estado de São Paulo, os maiores produtores desta hortaliça (EMBRAPA, 2011).

O estado do Paraná no ano de 2011 produziu 79.257 toneladas de alface, sendo deste total, 10.308 toneladas comercializadas na Ceasa (CEASA, 2012).

A alface constitui uma importante fonte de vitaminas e sais minerais, destacando-se seu elevado teor de vitamina A, além de conter vitaminas B1 e B2, vitaminas C, cálcio e ferro (FERNANDES et al., 2002). Além da praticidade, a alface apresenta efeito calmante, diurético e laxante, sendo recomendada na medicina popular para tais finalidades (MOGHARBEL e MASSON, 2005).

Quanto às características botânicas da alface ressalta-se que esta é uma planta de porte herbáceo, com caule pequeno no qual se prendem as folhas, lisas ou crespas, que crescem em forma de roseta formando ou não uma cabeça, com coloração em vários tons de verde ou roxa, conforme a cultivar (FILGUEIRA, 2003). Apresenta grande área foliar e sistema radicular pivotante pouco profundo, podendo atingir até 60 cm de profundidade, explorando efetivamente de 15 a 20 cm do perfil do solo (CAMARGO, 1984; MAROUELLI et al., 1994;

GOTO, 1998). O ciclo da cultura é anual, encerrando a fase vegetativa quando a planta atinge o maior desenvolvimento das folhas, quando se inicia a fase reprodutiva que consiste na emissão do pendão floral, sendo favorecida pelas épocas de elevadas temperaturas e dias longos (FILGUEIRA, 2003).

Tradicionalmente, a alface adapta-se melhor a temperaturas amenas, com maior produção nas épocas mais frias do ano em condições de campo (OLIVEIRA et al., 2004). Para todas as cultivares de alface, a ocorrência de dias curtos e temperaturas amenas favorecem a etapa vegetativa, além disso, as plantas apresentam-se resistentes a baixas temperaturas e geadas leves (FILGUEIRA, 2003). Em temperaturas elevadas, acima de 25°C, especialmente quando associadas a dias longos, aceleram o ciclo cultural, resultando em plantas menores e estimuladas ao pendoamento a planta emitirá o pendão floral precocemente interrompendo a fase vegetativa, e apresentará certo amargor e rigidez nas folhas, tornando-se imprópria para comercialização e consumo (CÁSSERES, 1980).

A época de plantio mais recomendada para a cultura é o final da estação chuvosa, sendo que nas regiões mais frias o cultivo pode ser realizado durante todo o ano, principalmente sob condição de cultivo protegido. O cultivo é realizado normalmente com espaçamento de 25 a 30 cm por 25 a 30 cm, entre linhas e plantas respectivamente, sendo feito em patamares ou em canteiros. O ciclo do cultivo varia de 40 a 70 dias dependendo do sistema (semeadura direta ou transplante de mudas), época de plantio (verão ou inverno), cultivar utilizado e sistema de condução, no campo ou protegido (FAHL et al., 1998).

O solo ideal para o cultivo da alface é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa quantidade de nutrientes prontamente disponíveis (FILGUEIRA, 2003). Para se obter maior produtividade, é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Maiores produções podem ser obtidas a partir da melhoria das características químicas e físico - químicas do solo, o que pode ser obtido com a adição de doses crescentes de compostos orgânicos (SOUZA et al., 2005).

2.2 Plantio direto e a produção de hortaliças

O plantio direto pode ser definido como um sistema de manejo sustentável do solo e da água que visa otimizar a expressão do potencial genético das plantas cultivadas. Compreende um complexo integrado de processos, fundamentado em três requisitos básicos: o revolvimento mínimo do solo, restrito à cova ou sulco de plantio, a diversificação de

espécies pela rotação de culturas e a manutenção de resíduos vegetais com o uso de culturas específicas para a formação de palhada na superfície do solo (MALUF et al., 2004).

A abordagem sistêmica, assim como a abordagem ecológica, também está intimamente associada ao plantio direto. Este enfoque levou ao estabelecimento do termo Sistema Plantio Direto (SPD) como a designação utilizada no Brasil em referência ao que, no passado, foi conhecido como plantio na palha ou plantio direto. O plantio direto não é uma técnica isolada, mas um conjunto de ações que permitem evitar o preparo mecânico do solo, tratando-se de um sistema constituído dos seguintes componentes: planta de cobertura, rotação de culturas e não mobilização do solo (RIBEIRO et al., 2001).

Trabalhos com plantio direto surgiram na metade do século passado nos EUA como forma de evitar a intensa erosão que ocorreu em consequência do uso excessivo de operações para o preparo do solo (JONES et al., 1968). Segundo Dick et al. (1991) os primeiros estudos que obtiveram sucesso com plantio direto foram realizados nos EUA com a cultura do milho na década de 50 por Davidson e Barrons.

No Brasil, a primeira referência sobre plantio direto remonta ao início da década de 60, com palestras realizadas em Minas Gerais, e as primeiras pesquisas e trabalhos de campo foram realizadas no Paraná (MUZZILI, 1985). Houve grande evolução nas pesquisas, e o sistema de plantio direto foi amplamente adotado em todo território nacional, ocupando 32 milhões de hectares, ou 70% das lavouras de grãos, segundo dados apresentados no ano de 2009 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CULTIVAR, 2009).

O plantio direto já consagrado na produção de grãos, utilizado em mais de 30 milhões de hectares, é uma importante ferramenta para a obtenção de sistemas produtivos mais sustentáveis também na olericultura. O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) é uma forma alternativa em que o plantio é feito diretamente sobre os restos culturais da lavoura anterior, sobre adubos verdes ou sobre as ervas espontâneas em área de pousio temporário (SOUZA e REZENDE, 2006).

O sistema de plantio direto de hortaliças apresenta diversos benefícios, como a conservação da estrutura física do solo e consequente efeito favorável sobre a aeração, proteção contra a erosão, redução da lixiviação de nutrientes, favorecimento da atividade microbiana do solo, ciclagem de nutrientes liberados com a decomposição da palhada, estocagem de carbono, menor resistência à penetração no solo, menor oscilação da temperatura do solo e maior economia de água (FONTES, 2005). Além de todas as vantagens proporcionadas ao solo e a própria planta, o menor contato das folhas ou frutos com o solo,

proporcionado pela palhada disposta sobre o solo, confere melhor aspecto comercial e maior conservação pós-colheita às hortaliças, valorizando o produto (MADEIRA, 2011).

Ressalta-se, no entanto, que para se obter sucesso com a adoção do plantio direto em hortaliças, é de fundamental importância a escolha adequada da sucessão de culturas, visto que as hortaliças em geral não deixam resíduo de palhada em quantidade adequada ao sistema, seja pela baixa relação C:N que apresentam, o que proporciona rápida decomposição, seja pela exportação do material vegetal por ser este o produto comercial de interesse. Dessa forma, no esquema de rotação escolhido, é possível incluir plantas de cobertura que tragam retorno comercial ou simplesmente forneçam palhada para o sistema (MADEIRA, 2011).

O trabalho pioneiro com plantio direto de hortaliças no Brasil surgiu na década de 1980, em Ituporanga, Santa Catarina, com o objetivo de desenvolver processos para transplantar mudas de cebola sem a necessidade do preparo convencional do solo (AMADO et al., 1992). De acordo com Madeira (2011), estas experiências foram motivadas pelo agravamento contínuo dos processos erosivos dos solos desse estado, que é o maior produtor nacional de cebola e chegou a ter metade da área cultivada com a cultura no sistema de plantio direto.

A partir da década de 90 iniciou-se o plantio de tomate para indústria em plantio direto em Goiás. A estratégia adotada por Abdul-baki e Teasdale (1993) foi utilizar as leguminosas de inverno ervilhaca peluda e trevo subterrâneo como planta de cobertura, que foram posteriormente transformadas em cobertura morta, para o cultivo de tomate. Após o corte das plantas de cobertura foi realizado o transplantio manual das mudas de tomate para pequenas covas e os resultados obtidos mostraram que é possível obter produção de tomate semelhante à obtida com o preparo convencional do solo.

Em outro trabalho, Abdul-baki et al. (1997) avaliaram o efeito de soja forrageira e milheto foxtail (*Setaria italica*), cultivados no verão como planta de cobertura, sobre a produção de brócolis e concluíram que, com esta estratégia, é possível conseguir produção semelhante à obtida com o preparo convencional do solo.

Os autores Abdul-baki e Teasdale (1997), também verificaram superioridade do sistema plantio direto em relação ao sistema convencional para o cultivo do feijão vagem de crescimento determinado, semeadas e avaliadas durante três anos consecutivos, associadas a cobertura morta proporcionada pela ervilhaca peluda.

Oliveira (2011), em plantio direto sobre a palhada de milheto e sorgo, verificou que a cobertura do solo com palhada elevou a produtividade do repolho. Castro et al. (2005) em plantio direto de berinjela demonstraram que a cultura não era prejudicada por tal manejo,

produzindo de forma satisfatória. Dalalstra et al. (2009) em estudos realizados no Paraná concluíram que o plantio direto de berinjela sobre a palhada de aveia proporcionou maior produtividade em comparação ao plantio desta cultura no sistema convencional.

Colombari et al. (2010) verificaram que conduzindo a cultura do pimentão em plantio direto sobre a palhada de aveia a produtividade desta cultura foi inferior quando comparado ao plantio convencional.

Em experimento de campo conduzido por dois anos sob manejo orgânico, utilizando sorgo, crotalária e milho em monocultivos e crotalária em consórcio com sorgo, na produção de brócolis em plantio direto, Silva (2002), verificou redução da infestação de plantas espontâneas e melhoria na produtividade da cultura.

Em São Paulo, região de Ibiúna, o cultivo de alface sobre palhada de aveia preta (inverno) e milho (verão) vem sendo empregado por produtores da região, obtendo-se resultados satisfatórios. Tem sido observado para a cultura da alface, assim como para a couve - flor e o brócolis de cabeça única produzidos sob este sistema, redução significativa da incidência de doenças, seja pela melhor drenagem e infiltração e pela eliminação dos respingos das gotas impactantes da chuva, seja pela regulação térmica que a palhada promove, levando à obtenção de produto comercial de melhor qualidade (MADEIRA, 2010).

De acordo com Tivelli et al. (2010), em experiência com o plantio direto de alface americana na Unidade de Pesquisa e desenvolvimento de São Roque-APTA, as alfaves plantadas nas parcelas sem adubação verde prévia, apresentaram diâmetro inferior à aquelas plantadas nas parcelas onde anteriormente foi cultivado crotalária. Além disso, observou-se que é possível reduzir em 50% a quantidade de composto orgânico aplicado no plantio da alface, quando utilizada a adubação verde com crotalária.

2.3 Plantas de cobertura e a influência nas características do solo

Áreas agrícolas submetidas a diferentes sistemas de manejo apresentam condições de equilíbrio físico distintas. Isso ocorre porque os efeitos que os sistemas de manejo exercem sobre a formação e estabilização dos atributos físicos é responsável pela dinâmica do sistema solo, podendo ser favoráveis ou não à sua conservação (RAMOS, 2009).

O preparo convencional de áreas agrícolas é um grande contribuinte da degradação do solo, pois neste sistema, com intenso revolvimento do solo, ocorre a desestabilização dos

agregados provocando o selamento superficial e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial e a perda de solo (REICHERT et al., 2000).

Para Oliveira et al. (2006), a cobertura morta do solo é considerada uma prática cultural benéfica aos sistemas de produção, em especial àqueles em que há predominância de forte revolvimento do solo (aração, gradagem e encanteiramento), como é o caso da olericultura, principalmente em culturas como a alface, em que a prática do levantamento de canteiros é comum.

A prática da utilização de determinadas espécies vegetais para a cobertura do solo é recomendada pela pesquisa há vários anos, sendo essencial no sistema de plantio direto, o qual tem como base a permanente disponibilidade de massa vegetal sobre a superfície do solo. A palhada formada pelas plantas de cobertura além de proteger o solo do impacto das gotas de chuva evitando a degradação de sua estrutura e a erosão, reduz a temperatura máxima e a amplitude diária da temperatura do solo, reduzindo também as perdas de água por evaporação (SALTON et al., 1995; SILVA, 2011). Além disso, filtram a luz solar, afetando o processo de germinação de plantas daninhas fotoblásticas positivas, diminuindo o gasto com capinas (ADEGAS, 1999; SILVA, 2011).

Ressalta-se que a temperatura do solo tem efeitos diretos no desenvolvimento da planta, pois a semente não germina até que o solo alcance uma temperatura crítica, assim como o desenvolvimento normal da planta também necessita de uma temperatura adequada. As reações químicas e a liberação de nutrientes para a planta dependem de faixas adequadas de temperatura do solo, podendo o efeito da temperatura ser percebido na atividade funcional das raízes, velocidade e duração do crescimento das plantas e ocorrência e severidade de doenças (GASPARIM et al., 2005).

Outra vantagem das plantas de cobertura é a reciclagem de nutrientes do solo, colocando-os à disposição das culturas comerciais (CALEGARI, 2001). Segundo Madeira (2010), as plantas de cobertura (milho, girassol, arroz, milho, sorgo, aveias, braquiárias, crotalárias, mucunas, nabo forrageiro, entre outras), utilizadas em sistemas de plantio direto e de sucessão de culturas, reciclam nutrientes, em função do seu profundo e agressivo sistema radicular, alterando as características químicas do solo. Da mesma forma, efeitos sobre as propriedades físicas do solo também são promovidas pelas plantas de cobertura, através da decomposição das raízes, o que proporciona a abertura de galerias, atuando como um “arado biológico”.

Em relação à decomposição, afirma-se que a serrapilheira, formada pelos resíduos vegetais depositados sobre o solo, apresenta material em diversos estágios de decomposição e

constitui um reservatório de matéria orgânica e nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo da interação entre a espécie utilizada, manejo da fitomassa (época de semeadura e de corte), umidade, aeração, atividade macro e microbiológica do solo, qualidade do material em decomposição, composição química da palha e tempo de permanência dos resíduos sobre o solo (ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002), além das condições edafoclimáticas de cada região (CORREIA e ANDRADE, 1999).

A liberação de nutrientes ocorre simultaneamente à decomposição, porém de forma diferenciada, sendo os nutrientes liberados para o solo tanto por lixiviação como por mineralização. Estudos comprovam que tecidos vegetais com elevado teor de nitrogênio apresentam taxas de decomposição e liberação de nutrientes mais rápidas (MELILLO et al., 1982). Porém, o teor de lignina presente no tecido vegetal pode prejudicar a mineralização de nitrogênio, já que a lignina tende a ser degradada a compostos fenólicos que podem combinar com proteínas e aminoácidos, encontrados no material vegetal, originando polímeros húmicos que tornam o nitrogênio menos disponível (PALM et al., 1996). Além dos aspectos físicos de proteção do solo e da ciclagem de nutrientes, os resíduos vegetais contribuem para formar a matéria orgânica do solo considerada um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT et al., 2003).

Em sistemas agrícolas, a matéria orgânica, além de ser influenciada pelo manejo de culturas e preparo do solo, também é influenciada pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (LEITE, 2003). Dessa forma, sistemas agrícolas que adotam menor revolvimento do solo e alta taxa de adição de resíduos podem deter o declínio da qualidade estrutural de solos cultivados, bem como promover a recuperação daqueles já degradados (PALADINI e MIELNICZUK, 1991).

A matéria orgânica é um fator que influencia nos atributos físicos do solo, pois afeta diretamente a agregação do solo, e a partir daí influencia indiretamente as demais características físicas do solo como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração (PALADINI e MIELNICZUK, 1991; BAYER e MIELNICZUK, 1999). Biologicamente, tem como função fornecer carbono como fonte de energia para os microrganismos, promovendo a ciclagem de nutrientes (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Em trabalho realizado por Souza e Alves (2003), os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo apresentaram maiores contribuições à qualidade do solo, uma vez que, além

da melhoria nas condições químicas do solo, a matéria orgânica se manteve em níveis similares às do sistema natural.

De forma geral a relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pela situação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN e PARKIN, 1994). Tais propriedades, consideradas indicadores da qualidade do solo, podem ser utilizadas para diagnosticar a capacidade do solo em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo elevada produtividade e a qualidade ambiental.

O reconhecimento da ocorrência de interações entre os atributos químicos e físicos no perfil do solo e as interferências que as culturas estão sujeitas, demonstra a necessidade de quantificá-los na avaliação da influência das práticas de manejo, pois exercem reflexos na qualidade e no potencial produtivo do solo. Dessa forma, os atributos a serem avaliados devem ser sensíveis às variações do manejo e correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo (DORAN e ZEISS, 2000).

A análise das características físicas do solo é uma importante ferramenta para verificar a sustentabilidade das diferentes formas de manejo das culturas. Isto se deve ao fato de que as condições físicas do solo exercem importante papel no crescimento radicular, pois, da mesma forma que a barreira química, as raízes de plantas que crescem em solos com impedimento de ordem física, como a compactação, apresentam modificações morfológicas, que resultam em aumento na espessura do córtex, reduzindo a sua superfície, o que interfere na absorção de água e nutrientes (TAYLOR e BRAR, 1991; BENGOUGH et al., 1997).

Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas a sua forma (Albuquerque et al., 1995) ou a sua estabilidade (CAMPOS et al., 1995). De acordo com Brewer e Sleeman (1960), a estrutura de um solo é dada pela sua condição física, expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. A textura do solo, apesar de não ser um atributo dinâmico de qualidade do solo, tem um grande efeito no processo erosivo, pois influencia a desagregação pelo impacto das gotas da chuva bem como pelo escoamento superficial (REICHERT et al., 1992).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados utilizando-se diferentes propriedades físicas, destacando-se: compactação do solo, densidade, resistência do solo à penetração, estrutura e porosidade. As modificações nestas propriedades ocasionadas pelo manejo inadequado resultam em decréscimo de produção (RADFORD et al., 2001). A porosidade do solo e a relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para avaliação da estrutura do solo. Segundo Rezende (1997), a presença de uma

rede ideal de poros, com ampla variação de diâmetros, é um fator-chave na fertilidade do solo que influi na produtividade das culturas, pois interfere nas relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura.

A intensidade de uso do solo além de resultar em alterações da porosidade, gera também modificações na densidade e redução do teor de carbono orgânico (MACHADO et al., 2008). As amplitudes da densidade do solo impostas pelo uso e manejo resultam na necessidade de maior conteúdo de água para manter os valores de resistência do solo à penetração igual ou inferior ao valor crítico ao desenvolvimento de raízes de 2 MPa (BLAINSKI et al., 2008).

Diversos autores ressaltam que o uso contínuo de sistemas que não permitem o revolvimento do solo, como o sistema plantio direto, reduzem a densidade do solo em função da melhoria da agregação, maior teor de carbono orgânico e maior continuidade e estabilidade de poros (STONE et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004; SILVEIRA et al., 2008).

A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o seu comportamento físico-hídrico, sendo o estudo da porosidade, uma das maneiras de caracterizar e quantificar essas propriedades do solo (GUERIF, 1987).

Inúmeras classificações do diâmetro de poros foram citadas na literatura, destacando-se uma forma mais simplificada, proposta por Kiehl (1979), que separa os poros em duas classes: macroporos, quando os poros têm diâmetro maior do que 0,06 mm, e microporos, quando os poros são menores do que 0,06 mm. Há, no entanto, uma variação muito grande na definição dos limites de diâmetro entre uma classe e outra. Luxmoore (1981) definiu como limite para macroporos o diâmetro de 1 mm, enquanto Koorevaar et al. (1983) utilizaram o diâmetro de 0,1 mm. A exigência das plantas para a aeração do solo, isto é, porosidade livre de água necessária para o seu pleno desenvolvimento, varia entre espécies e solos, e os efeitos da deficiência de difusão de oxigênio no solo sobre as plantas são bastante estudados. De acordo com Erickson (1982), em revisão detalhada a respeito do assunto, para a maioria das culturas, o valor mínimo de espaço poroso livre de água deve ser ao redor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No entanto, esses valores são apenas uma referência, pois a taxa de difusão gasosa no solo depende da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade do espaço poroso, dentre outros (JONG VAN LIER, 2001).

A compactação do solo acarreta a redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas. Silva et al. (1986) observaram a transformação de macroporos em microporos decorrente da compactação. Na avaliação física

do solo deve-se levar em consideração a resistência a penetração (RP), que de acordo com Letey (1985), constitui um indicador de qualidade física do solo diretamente associado ao desenvolvimento de plantas. Tal indicador corresponde ao impedimento mecânico que o solo oferece às raízes quando correlacionado com a resistência do solo à penetração medida com penetrômetro, que consiste em agulha ou haste metálica com um cone na extremidade (semi-ângulo de 30°), que permite quantificar a força necessária para introduzir a haste no solo (BENGOUGH e MULLINS, 1990).

Considerável atenção tem sido empregada pela pesquisa a fim de determinar os valores críticos de resistência a penetração determinados por penetrômetros, acima dos quais ocorre restrição ao crescimento radicular. Apesar da variação entre os valores de resistência a penetração crítica observados por diferentes autores para culturas diversas, o valor de 2 MPa tem sido aceito como valor crítico, impeditivo ao crescimento radicular, à absorção de água e nutrientes e à produção das culturas (TAYLOR et al., 1966). Este valor de resistência a penetração é maior que as máximas pressões que as raízes podem aplicar, que segundo Misra et al. (1986) estão entre 0,7 e 1,3 MPa na direção axial. Tal variação entre as máximas pressões exercidas pelas raízes de diferentes plantas pode ser atribuída à capacidade das raízes de se contorcer quando encontram obstáculos, à menor fricção entre a raiz e o solo pela exudação de substâncias lubrificantes e à capacidade das raízes de exercer pressões radiais. Outra possibilidade é que, em cultivos sucessivos como o plantio direto, a continuidade de poros formados por raízes que se decompõem e por minhocas é favorecida, facilitando o crescimento radicular nestes espaços (CAMARGO, 1983).

O impedimento físico ao crescimento das raízes tem mostrado estreita interação com o crescimento das plantas, uma vez que as raízes parecem dispor de mecanismos de detecção dessas condições, enviando sinais à parte aérea que controlam o crescimento (MASLE e PASSIOURA, 1987). No entanto, a presença de barreira física pode não ser necessariamente uma característica adversa ao crescimento e produtividade das culturas, que depende da fertilidade do solo, da distribuição das raízes, dos teores de umidade do solo, da textura e do teor de matéria orgânica do solo (BECKER, 1984). Ainda em relação a matéria orgânica, sabe-se que esta mantém estreita relação com o nitrogênio e em função disso, o teor de matéria orgânica é considerado nas recomendações de adubação nitrogenada, ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica de um solo, menor a quantidade de fertilizantes nitrogenados a ser adicionado às culturas, considerando as culturas de interesse e de cobertura (LADD et al., 1981; HAGGAR et al., 1993).

A aplicação das características químicas do solo como indicadoras das mudanças ocorridas em função do manejo do solo vem sendo utilizada há vários anos por diversos autores, a fim de identificar qual a melhor forma de utilização do solo, sem causar impactos indesejáveis aos recursos naturais. Antes mesmo do sistema de plantio direto ser completamente difundido pelos agricultores, alguns pesquisadores já procuravam identificar qual seria o comportamento dos nutrientes no solo perante esta nova tecnologia que estava sendo implantada (ZALAMENA, 2008). Centurion et al. (1985) estudaram as variações na distribuição, acumulação e suprimento de nutrientes em diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja em um Latossolo Vermelho no cerrado. Estes autores relatam que nos sistemas de preparo reduzido e de semeadura direta, houve maior concentração de nutrientes na camada mais superficial do solo (0 - 10 cm), enquanto que no sistema de preparo convencional do solo houve uma distribuição mais uniforme na camada de 0 - 20 cm.

De modo geral, a maioria dos trabalhos aponta para um aumento no teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo na camada mais superficial de solos manejados sob sistemas que priorizam a cobertura do solo, como no plantio direto (BAYER e MIELNICZUK, 1997; SOUZA e ALVES, 2003; OLIVEIRA et al., 2004). Segundo Almeida et al. (2005) o comportamento do cálcio e do magnésio é mais variável nos sistemas de manejo do solo e parecem depender também do tipo de solo, seqüências de culturas, clima e diferenças na mobilidade intrínseca de cada elemento no solo. É possível que o maior teor de cálcio e magnésio em sistemas de culturas anuais esteja relacionado à adição de calcário, à reciclagem de cálcio via decomposição de resíduos e ao aumento da capacidade de troca catiônica efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada (SOUZA e ALVES, 2003).

O fósforo se concentra mais na parte superficial do solo devido à sua baixa mobilidade (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2001). Para Almeida et al. (2005), a maior concentração de fósforo e potássio na superfície dos solos sob sistema plantio direto deve-se, principalmente, ao modo de aplicação dos adubos neste sistema, pois a distribuição é realizada a lanço ou através da incorporação na linha durante a semeadura, próxima às sementes, concentrando esses nutrientes nas camadas mais superficiais do solo. No preparo convencional eles são incorporados antes de cada semeadura e homogeneizados na camada arável do solo, favorecendo até mesmo a lixiviação desses nutrientes.

Avaliando os efeitos das plantas de cobertura sobre o fósforo do solo em um Argissolo, Gonçalves (1997), não encontrou diferença significativa na movimentação do fósforo orgânico e inorgânico, ao longo do perfil do solo. Neste estudo o autor encontrou um

acúmulo de fósforo na superfície e atribuiu esse efeito à baixa mobilidade desse nutriente no solo, às adubações superficiais e ao sistema de manejo adotado (Plantio Direto).

A cobertura do solo contribui também para o aumento da saturação por bases no complexo catiônico e a conseqüente melhoria da fertilidade dos solos, através da redução na velocidade de oxidação da matéria orgânica do solo. Dessa forma, a adsorção de cátions trocáveis (cálcio, magnésio, potássio) é beneficiada, promovendo o aumento da CTC-dependente de pH, mediante trocas com o H^+ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases no complexo coloidal (CALEGARI et al., 1992).

Com relação a saturação de alumínio, o sistema de plantio direto indica uma tendência de apresentar menores valores médios nos primeiros 5 cm do solo, crescendo a partir daí, a níveis superiores aos demais sistemas analisados por CENTURION et al. (1985). Bayer e Mielniczuk (1997) não encontraram diferenças entre os métodos de preparo do solo no teor de alumínio, mas encontraram maiores teores em profundidade.

Nos sistemas que envolvem culturas anuais, tanto em sistemas de plantio convencional quanto no plantio direto, são encontrados maiores valores de pH do solo, quando comparado com mata ou campo nativo. Esse aumento ocorre em função da adição de calcário ao solo, com tendência de concentração na camada superficial, caso não seja incorporado ao solo (PRADO e NATALE, 2003).

2.4 Escolha das plantas de cobertura

O sistema de manejo ideal deve proporcionar maior cobertura do solo, por maior período de tempo possível, além de permitir a decomposição dos restos culturais, de modo a coincidir a liberação dos nutrientes com a demanda dos mesmos pela espécie subsequente (DERPSCH et al., 1991).

Uma planta de cobertura deve ainda satisfazer certas exigências em sistemas de manejo de resíduos apresentando os seguintes aspectos: facilidade de estabelecimento, rápida taxa de crescimento, elevada capacidade de produção de matéria seca, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação da cobertura, facilidade de extermínio, resistência a doenças, além de não atuar como hospedeira de doenças da cultura comercial e ser economicamente viável (ARGENTA et al., 2001).

Tais características associadas com a relação C/N da palhada, permitem estimar o potencial das plantas de cobertura em incrementar a oferta de nitrogênio para as culturas

sucessoras (OLIVEIRA et al., 2002; BOER et al., 2007). Dessa forma é fundamental a seleção de coberturas vegetais com elevada capacidade de produção de massa seca, principalmente, em regiões onde as condições climáticas são favoráveis à rápida decomposição, além do estabelecimento de manejos da palhada que minimizem ou retardem esse efeito, visando a proteção do solo (FERNANDES, 2008).

Segundo Pereira (1990), na região de clima tropical e subtropical ainda são necessários mais estudos sobre a proteção do solo com cobertura vegetal, especialmente para as hortaliças, pois o clima favorece a rápida decomposição dos restos culturais. A permanência de resíduos vegetais no solo por determinado período é desejável, tanto sob os aspectos de conservação do solo e de economia de água, como no controle de plantas daninhas (ADEGAS, 1999; PRIMAVESI et al., 2002).

Dentre as espécies utilizadas para cobertura morta do solo, destacam-se representantes de leguminosas e gramíneas sendo o processo de decomposição diferenciado entre estes grupos, o qual depende da qualidade bromatológica das espécies vegetais, principalmente, em relação à concentração de nitrogênio, das condições climáticas e da atividade microbiana no solo (ROSOLEM et al., 2003).

Ressalta-se que espécies de cobertura do solo da família das leguminosas, em função da capacidade de se associarem às bactérias fixadoras de nitrogênio, possibilitam elevado aporte desse elemento aos sistemas de produção (BARRADAS et al., 2001; PADOVAN et al., 2002). Além disso, a palhada de leguminosas, fragmentada e depositada na superfície do solo, caracteriza-se por uma rápida decomposição, provocada pela relação C/N inferior a 20, e conseqüente liberação de nutrientes, favorecendo o desempenho agrônômico das culturas (AITA e GIACOMINI, 2003).

Por outro lado, as gramíneas normalmente apresentam decomposição mais lenta, devido à elevada relação C/N, entre 30 e 40, podendo inclusive acarretar imobilização de nutrientes no solo (ESPINDOLA et al., 2006). Porém, sua permanência no solo é maior, com contribuição para formação de palha, melhoria da estrutura do solo, principalmente da estabilização dos agregados, devido ao sistema radicular agressivo e abundante, sendo constituída também, de uma reserva de nutrientes imobilizados na palha que podem ser liberados lentamente (PAULETTI, 1999).

Entre as principais espécies estudadas em trabalhos com plantas de cobertura de solo no outono/inverno, na região Sul do Brasil, estão o milheto, o guandu, a ervilhaca comum, a aveia preta e o nabo forrageiro (AITA, 1997). Alguns estudos apontam também efeitos

positivos do consórcio das culturas de cobertura (GIACOMINI, 2001; GIACOMINI et al., 2003).

2.4.1 Nabo forrageiro

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.), pertencente à família Brassicaceae, tem sido empregado nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil e no Estado de São Paulo, como material para adubação verde de inverno e planta de cobertura, em sistemas de cultivo conservacionistas como o plantio direto e o cultivo mínimo (CRUSCIOL et al., 2005).

Trata-se de uma planta anual, alógama, de crescimento ereto, herbáceo, com intensa ramificação, podendo atingir uma altura de até 1,80 m (DERPSCH e CALEGARI, 1992). Apresenta raízes pivotantes e agressivas, capazes de romper camadas de solo extremamente compactadas a profundidades maiores que 2,50 m (RIOS, 2008).

Após 60 dias do plantio, a planta cobre cerca de 70% do solo (CALEGARI, 1990), inibindo o desenvolvimento das ervas daninhas, seja nas culturas em andamento, seja nas futuras, o que reduz significativamente o uso de herbicidas. Entre os 90 e 120 dias o plantio atinge seu auge, podendo produzir volumes de massa próximos de 15 t ha⁻¹.

O nabo pode ser uma ótima alternativa no fornecimento de palhada para o plantio direto, como cobertura do solo além de possuir elevada capacidade de reciclagem de nutrientes do solo, principalmente fósforo e nitrogênio, tornando-o uma importante espécie para fazer parte de esquemas de rotação de culturas. Seu sistema radicular vigoroso é um excelente subsolador natural. A planta também é bastante resistente à seca e ao frio. Além disso, inibe o desenvolvimento de diversas plantas invasoras indesejáveis. Até o momento, não existem pragas ou doenças que causem danos importantes a ponto de comprometer economicamente a cultura (RIOS, 2008).

Outra vantagem do nabo forrageiro é a sua viabilidade econômica para a produção de biodiesel. A planta pode produzir até 1.200 kg ha⁻¹ de grãos, que atingirão cerca de 40% de óleo quando esmagados (RIOS, 2008).

Além da adubação verde e da produção de biodiesel, o nabo forrageiro pode ser utilizado na alimentação animal tanto nas formas de pastejo direto e silagem, como no corte para fornecimento no cocho, sendo que a torta resultante do processo de prensagem dos grãos pode ser usada como concentrado protéico na formulação de rações para diversas espécies animais. Pode ser consorciado com a aveia, centeio, ervilha forrageira, tanto para adubação verde como para forragem (CALEGARI, 1990).

Bons resultados também podem ser conseguidos na produção de mel. A florada do nabo dura cerca de 30 dias e pode se tornar uma boa fonte de receita adicional para o agricultor. A planta ainda pode ser usada em pomares para desviar a atenção de insetos que atacam frutos e flores (RIOS, 2008).

2.4.2 Milheto

Cultivado há muito tempo no continente africano, o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é uma gramínea anual que por haver se dispersado em diversos ambientes, apresenta enorme adaptação a diferentes condições de solo e clima. A planta apresenta inflorescência na forma de panícula terminal, sistema radicular vigoroso e 80% de polinização cruzada (CHAVES e CALEGARI, 2001). As espécies desse gênero caracterizam-se pela elevada resistência à seca, crescimento inicial rápido e boa capacidade de perfilhamento. Segundo Calegari (2004), o milheto, em condições normais pode atingir 1,50 a 1,70 m de altura aos 50 - 60 dias após a sementeira, com uma produção de 4 a 6 t ha⁻¹ de matéria seca.

Em condições de solo e clima desfavoráveis, o milheto desenvolve um sistema radicular profundo, que permite à planta aproveitar melhor os nutrientes que estão abaixo da camada superficial do solo, auxiliado assim na descompactação, reestruturação do solo e permitindo acesso à água em períodos de seca (SALTON e KICHEL, 1998). Outra vantagem do milheto é a lenta decomposição de sua palhada, em função da maior relação C/N, liberando lentamente os nutrientes absorvidos pela planta, tornando-os disponíveis para as culturas subsequentes (CHAGAS, 2004).

O milheto tem se mostrado uma importante opção de cobertura do solo e formação de palhada para o sistema plantio direto, em sucessão ou antecipação ao cultivo de verão, pois permite a formação de ótima cobertura do solo (PITOL et al., 1996) exercendo proteção contra intempéries (NETTO, 1998). A facilidade de sementeira e de se obter sementes fazem do milheto uma opção ainda mais viável como cultura de cobertura do solo e formadora de palhada (ALVARENGA et al., 2001).

Para Bonamigo (2003), as características positivas do milheto são, tolerância à seca, rápido crescimento vegetativo, adaptação ao cultivo sucessivo e boa produção de biomassa da parte aérea para proteção do solo. Oliveira et al. (2002) encontraram produtividades de até 14,2 t ha⁻¹ de matéria seca, proporcionando boa cobertura do solo.

2.4.3 Aveia-preta

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) é uma das principais culturas de inverno utilizadas como cobertura morta na entressafra das culturas comerciais de verão, por apresentar características de proteção contra ações erosivas, redução do escoamento superficial, aumento da infiltração de água e carbono no solo. Essa cobertura favorece também o controle de plantas daninhas e a ciclagem de nutrientes, devido a sua capacidade de produção de matéria seca (AKUNE et al., 2009). A cultura apresenta também outras características desejáveis em sistemas de rotação de culturas, em especial sob plantio direto, como rápido crescimento inicial, rusticidade, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, resistência satisfatória a ferrugem, ao ataque de pulgões e à deficiência hídrica e facilidade de adaptação ao consórcio (SÁ, 1996; HEINRICHS, et al., 2001; CERETTA et al., 2002)

Em função dos benefícios proporcionados às características físicas e químicas do solo e da satisfatória proteção do solo, a aveia preta é muito utilizada no sul do Brasil, no período de inverno, antecedendo o cultivo do milho em sistema de plantio direto (ARGENTA, 2001).

Outro efeito relevante do uso de gramíneas, em especial a aveia preta, como plantas de cobertura está relacionado à descompactação do solo, pois estas plantas apresentam sistemas radiculares profundos e agressivos que podem, inclusive, complementar a ação mecânica de implementos de subsolagem. De acordo com os resultados obtidos por Tormena e Roloff (1996) e por Muller et al. (2001), a presença das culturas de aveia preta e nabo forrageiro no plantio direto pode influenciar positivamente a qualidade física do solo, pelo fato de as raízes crescerem em profundidade e em camadas de maior compactação do solo. Neste sentido a formação de canais contínuos ao longo do perfil do solo, também denominados bioporos, resultante da rotação de culturas planejada em solo sob plantio direto, possibilita o crescimento radicular numa matriz mais densa.

2.4.4 Feijão-vagem

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma hortaliça de interesse mundial, sendo importante na nutrição humana como fonte de proteína. Pertence à mesma espécie botânica do feijão-comum que produz grãos secos, porém caracteriza-se por ser colhido quando as sementes estão ainda imaturas (FILGUEIRA, 2000). É uma planta herbácea, dicotiledônea,

originária das Américas, pertencente à família Leguminosae, que pode apresentar hábito de crescimento determinado ou indeterminado, com ciclo anual variando de 60 a 120 dias (SANTOS e GAVILANES, 2006). É uma hortaliça que se adapta bem em climas amenos ou quentes com temperaturas variando entre 18 °C e 30 °C, sendo prejudicada por temperaturas acima de 35 °C ou sob frio intenso (NADAL et al., 1986).

Há cultivares de porte alto com crescimento indeterminado e exigentes em tutoramento, enquanto outras são de crescimento determinado, de porte anão e apresentam ciclo mais curto (CASTELLANE et al., 1988). Dentro das áreas cultivadas em cada estado brasileiro, as cultivares mais utilizadas apresentam crescimento indeterminado, com vagens de formato cilíndrico ou chato. Porém nos últimos anos tem sido lançadas cultivares de crescimento determinado, que apesar de atingirem cerca de metade da média de produção daquelas com crescimento indeterminado (25 a 30 t ha⁻¹), são de grande interesse na olericultura devido ao ciclo reduzido (TESSAROLI NETO e GROppo, 1992; FILGUEIRA, 2000). O feijão-vagem está entre as principais hortaliças que fornecem cálcio para o organismo, pois segundo Filgueira (2000), essa hortaliça apresenta 40 mg de cálcio por 100 g de vagens cozidas. Além disso, o cálcio presente nas vagens e nos grãos imaturos do feijão-vagem pode ser prontamente absorvido pelo organismo humano (GRUSAK et al., 1996). Constitui também uma hortaliça rica em fibras, necessárias para o perfeito funcionamento do aparelho digestório (HERVATIN e TEIXEIRA, 1999).

A cultura do feijão-vagem no Brasil visa, basicamente, a produção de vagens frescas para consumo. Pequenas quantidades se destinam à industrialização para conserva e exportação de vagens frescas ou refrigeradas (ALVES, 1999). As sementes atualmente utilizadas são produzidas no Brasil, com importação inexpressiva (VIGGIANO, 1990). A comercialização é feita durante todos os meses do ano, sendo julho, agosto, setembro e outubro os meses de menor oferta do produto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Localização

O experimento foi conduzido em uma área localizada no Município de Santa Helena, região Oeste do Paraná, situada na latitude 24°51'37" Sul e longitude 54°19'58 Oeste, altitude de 258 metros, no período de junho de 2010 a fevereiro de 2011.

3.1.2 Solo

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa. A área experimental encontrava-se em pousio, coberta por plantas espontâneas há cerca de dois anos. Antes da instalação do experimento foi realizada coleta de solo na profundidade de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm para análise química, sendo os resultados representados na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas do solo da área experimental, na profundidade de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, e análise textural. Santa Helena - PR, 2010.

Análise Química do solo												
Prof cm	P mgdm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂ 0,01molL ⁻³	Ca	Mg	K	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	
				cmol _c dm ⁻³								%
0 - 20	7,83	18,45	4,93	6,79	1,32	0,36	0,10	4,02	8,47	12,49	67,81	
20 - 40	3,00	14,35	4,91	6,09	1,07	0,17	0,05	3,79	1,07	4,86	22,02	
Análise Textural do solo												
Argila				Areia				Silte				
%												
70,20				8,32				21,48				

*Análises químicas realizadas no Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Unioeste, análise para determinação da textura realizada no Laboratório de Física do solo da Unioeste. Marechal Cândido Rondon - PR.

3.1.3 Clima

O clima da região, conforme a classificação de Köppen (Cfa), se caracteriza como subtropical (IAPAR, 2000).

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada e temperatura máxima, mínima e média mensal (Figura 1) referentes ao período de condução do experimento (junho de 2010 a

fevereiro de 2011) foram fornecidos pelo Instituto Tecnológico Simepar, sendo os dados coletados em uma estação localizada a 4000 m de distância do local de instalação do experimento.

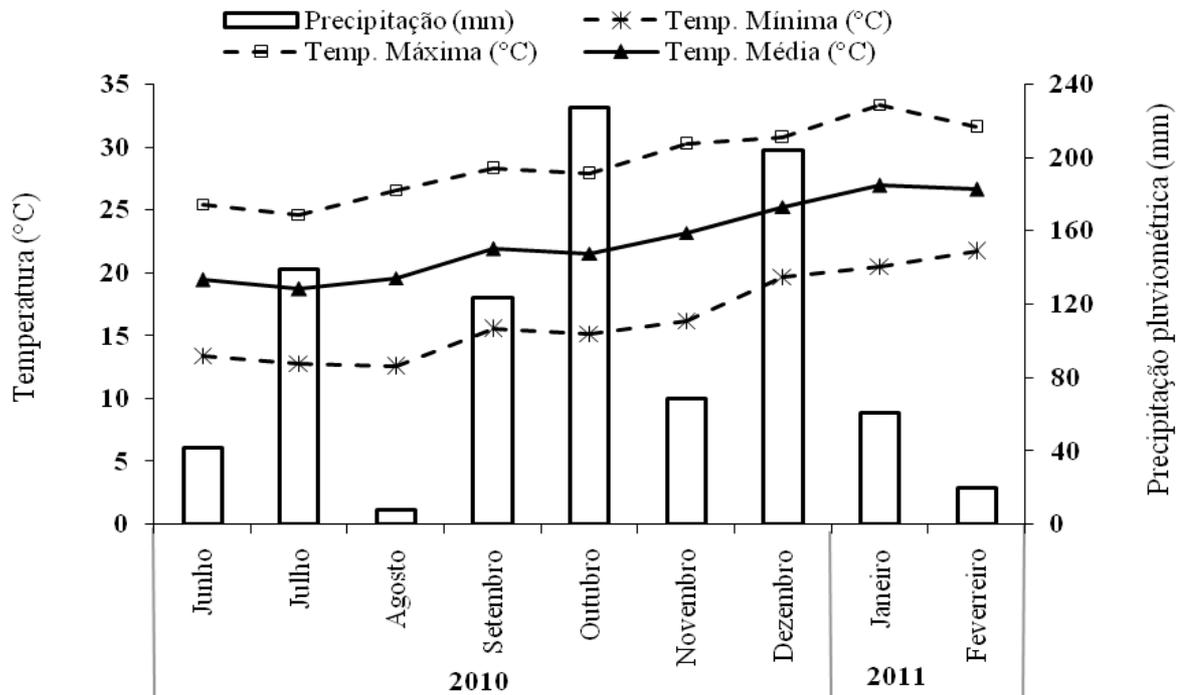


Figura 1: Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura mínima, máxima e média mensal no período de junho/2010 a fevereiro/2011. Estação Meteorológica do Simepar. Santa Helena - PR.

A umidade média do ar nos meses de condução do experimento foi: 75,61% (junho), 71,88% (julho), 58,83% (agosto), 65,28% (setembro), 65,58% (outubro), 66,40% (novembro), 82,85% (dezembro), 78,81% (janeiro), 83,25% (fevereiro).

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas experimentais medindo 1,20 x 3,0 m, foram compostas pelas plantas de cobertura: feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), milho (*Pennisetum glaucum* L.) e testemunha (sem cobertura, em pousio com controle das plantas espontâneas), e as subparcelas foram constituídas pelas cultivares de alface (Vanda e Verônica) e a subparcela pelo cultivo sucessivo de alface.

Neste estudo foram escolhidas cultivares de alface do tipo crespa por representarem o grupo líder de consumo no mercado nacional, o qual apresenta como características principais folhas bem consistentes, crespas e soltas, ou seja não forma cabeça.

3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se o cultivo das plantas de cobertura que foram utilizadas como cobertura morta (junho a outubro de 2010), e na segunda o plantio da alface em dois ciclos sucessivos de cultivo, após o manejo das plantas de cobertura (novembro de 2010 a fevereiro de 2011).

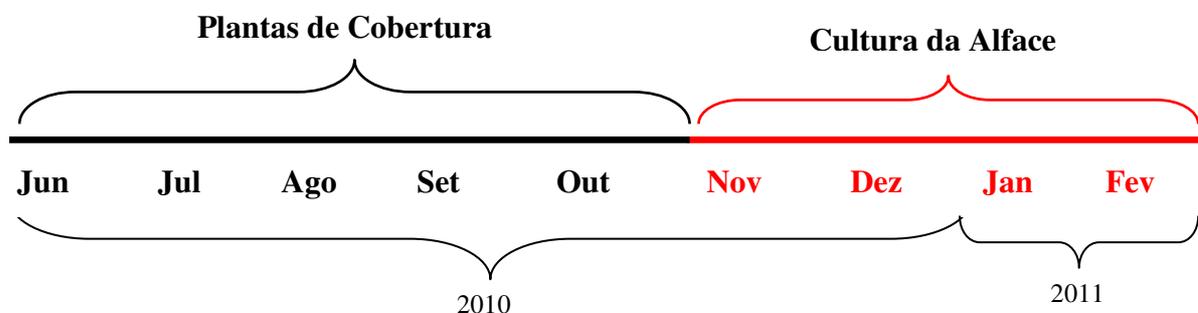


Figura 2: Esquema da condução do experimento.

3.3.1 Primeira etapa

3.3.1.2 Preparo do solo, calagem e adubação

O preparo inicial do solo (Figura 3) foi constituído de aração, calagem, gradagem, encanteiramento e adubação. A aração foi realizada com um arado de aivecas, operando em profundidade de 40 cm. A necessidade de calagem foi calculada com base na fórmula de saturação de bases descrita em Trani *et al.* (1997), a partir da análise química inicial (Tabela 1), sendo determinado que a dose a ser aplicada seria de 3.370 kg ha⁻¹ de calcário, para elevar a saturação de bases a 80 %. O calcário foi aplicado manualmente em superfície do solo antes da gradagem (20/05/2010). Para a gradagem utilizou-se uma grade niveladora. Os canteiros foram levantados a 25 cm de altura, utilizando-se encanteirador, dois dias antes do plantio das plantas de cobertura.



Figura 3: Preparo inicial do solo; calagem (A), encanteiramento (B), canteiros preparados para sementeira das plantas de cobertura (C). Santa Helena – PR, 2010.

A adubação de plantio foi realizada de acordo com recomendação de Raij et al. (1997), sendo baseada na adubação para o feijão vagem que determina a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, 450 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 100 kg ha^{-1} de K_2O . A adubação foi realizada a lanço manualmente, e incorporada ao solo antes do plantio das plantas de cobertura.

3.3.1.3 Sementeira e condução das culturas de cobertura

A sementeira das plantas de cobertura foi realizada no dia 26/06/2010 manualmente e em linha seguindo-se a recomendação de plantio de 20 kg ha^{-1} de sementes de nabo forrageiro, 20 kg ha^{-1} de milho e 65 kg ha^{-1} de aveia, com espaçamento entre linhas de 20 cm. Para o plantio do feijão-vagem foi utilizado espaçamento entre linhas de 80 cm e espaçamento de 40 cm entre plantas. O manejo das plantas de cobertura foi realizado no dia 03/10/2010, quando as plantas apresentavam o máximo crescimento vegetativo, sendo constituído de acamamento realizado de forma manual, arrastando rente ao canteiro uma haste de madeira sustentada nas extremidades. Posteriormente foi realizada dessecação das plantas utilizando-se o produto Glifosato ($480 \text{ g i.a. L}^{-1}$) na dosagem de 2 L ha^{-1} .

3.3.2 Segunda etapa

3.3.2.1 Implantação da cultura da alface

A cultura da alface foi conduzida após o manejo das plantas de cobertura em delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições. A parcela principal foi composta pelas plantas de cobertura: feijão vagem

(*Phaseolus vulgaris* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), milho (*Pennisetum glaucum* L.) e testemunha (sem cobertura, em pousio com controle das plantas espontâneas). As subparcelas foram constituídas pelas cultivares de alface (Vanda e Verônica) e a subsubparcela pelo cultivo sucessivo de alface (primeiro e segundo cultivo).

As mudas de alface foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido e mantidas em casa de vegetação até o momento do transplante, que foi realizado aos 30 dias (primeiro cultivo) e 80 dias (segundo cultivo) após corte das plantas de cobertura. O plantio da alface foi realizado em espaçamento de 30 x 30 cm. A adubação de plantio foi realizada em linha enquanto a adubação de cobertura foi realizada nas entrelinhas distribuída parceladamente aos 7, 14 e 21 dias após o transplante. Na adubação de plantio aplicou-se manualmente 40 kg ha⁻¹ de N, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O e em cobertura 60 kg ha⁻¹ de N, seguindo as recomendações de Trani et al. (1997).

A colheita foi realizada 42 e 45 DAT (dias após o transplante) para o primeiro e segundo cultivo, respectivamente.

A irrigação tanto das plantas de cobertura quanto da cultura da alface foi realizada por aspersão (vazão = 21 mm/hora), sendo realizada quando necessário, por um período de 20 minutos, duas vezes ao dia até a colheita.

3.4 Parâmetros avaliados

3.4.1 Parâmetros avaliados para as plantas de cobertura

3.4.1.1 Massa fresca e massa seca

A fitomassa das plantas de cobertura foi mensurada 99 dias após a semeadura, quando a maioria das plantas apresentavam o máximo crescimento vegetativo, utilizando-se um quadro de madeira com área conhecida (50 x 50 cm), o qual foi lançado aleatoriamente em cada parcela, e todo o material vegetal contido no seu interior foi coletado. As amostras coletadas foram pesadas para determinação de massa fresca. Posteriormente foram retiradas sub-amostras, que foram acondicionadas em sacos de papel e em seguida levadas para secar em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, até atingir massa constante, para determinação

da massa seca, sendo ambas expressas em $t\ ha^{-1}$. A massa fresca restante de cada amostra foi devolvida a parcela experimental uniformemente.

3.4.2 Parâmetros avaliados para a cultura da alface

Foram avaliadas a campo a altura e diâmetro das plantas com auxílio de uma régua graduada. Foram tomadas também as medidas de diâmetro longitudinal e transversal para determinação da projeção da copa. A área de projeção da copa foi determinada seguindo a metodologia de Borges (2006) medindo-se as margens opostas do disco foliar, com o auxílio de uma régua. Os dados foram expressos em centímetros e a área foliar calculada pela equação: $A = \pi r^2$ onde A = área em cm^2 ; $\pi = 3,1416$; $r = d/2$; d = diâmetro $(d1+d2)/2$; $d1$ = diâmetro transversal; $d2$ = diâmetro longitudinal.

Em seguida as plantas avaliadas foram coletadas e levadas para o laboratório sendo seccionadas em caule e folhas para avaliação da parte aérea (folhas + caule), número de folhas, massa fresca de folhas, caule, área foliar e diâmetro do caule com auxílio de um paquímetro digital. As diferentes partes da planta foram acondicionadas em sacos de papel e conduzidas em estufa de circulação forçada a $65^\circ C$ até atingir o peso constante, para determinação da massa seca de folhas, caule e parte aérea (folhas+caule). Para a quantificação da área foliar utilizou-se o método de amostragens de acordo com a metodologia de Benincasa (1988), sendo realizada a mensuração de área foliar conhecida para determinação da área, considerada área foliar da amostra (AF amostra). Posteriormente o material foi seco em estufa obtendo-se assim a massa seca de amostra (MS amostra), e a área foliar total através da seguinte fórmula: $AF = [(AF\ amostra \times MSF) / MS\ amostra]$, onde MSF corresponde a massa seca de folhas.

3.4.3 Parâmetros avaliados para o solo

3.4.3.1 Análises físicas do solo

Análises físicas do solo nas profundidades 0 - 10 e 10 - 20 cm foram realizadas em três épocas, (após o corte das plantas de cobertura e após cada ciclo de cultivo da alface).

Amostras indeformadas do solo para análise física foram coletadas com o auxílio de um extrator de anéis, na entrelinha da cultura em todas as parcelas. A partir das amostras coletadas determinou-se a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas duas profundidades, conforme metodologia da Embrapa (1997). A densidade do solo determinada pelo método do anel volumétrico, pelo qual é determinado o volume do anel, este é pesado, colocado em latas de alumínio e seco em estufa a 105°C. Após 24 horas o material é retirado e pesado sendo estimada a densidade através da equação: $Densidade = m/v$, onde m = peso da amostra seca (g) – peso do anel (g) e v = volume do anel.

A microporosidade, macroporosidade e porosidade total foram determinados pelo método da mesa de tensão, cujo princípio baseia-se em saturar amostras indeformadas de solo em bandejas com água por um período de 24 horas. Após o período de saturação as amostras são pesadas e colocadas sob a mesa de tensão e submetidas à sucção de 0,6 m de coluna de água até estabilização, retirando assim, a água dos macroporos. Após pesagem, e depois de ir para a estufa a 105°C por 48 horas, se obtém o volume de macroporos e microporos contidos na amostra. A porosidade total foi obtida pela soma da microporosidade e macroporidade.

Também foi avaliada a umidade do solo nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, sendo que amostras de solo coletadas foram acondicionadas em latas de alumínio, pesadas e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas, para posterior cálculo da umidade do solo: $Umidade (\%) = (mu - ms) / ms * 100$, onde mu = massa solo úmido (g), ms = massa solo seco (g) em estufa.

Mensurou-se a resistência mecânica a penetração utilizando um penetrômetro de impacto e a fórmula dos Holandeses, sugerida por Stolf (1991). Fórmula dos Holandeses: $F = (M + m) g + (M / M+m) * (Mgh / x)$ onde F = força de resistência do solo (kgf); M = massa que provoca o impacto (kg); m = massa dos demais componentes do penetrômetro excluída a de impacto (kg); g = aceleração da gravidade; h : altura de queda da massa que provoca o impacto (cm); x = penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto). Para obter-se a resistência por unidade de área (R), a força de resistência do solo deve ser dividida pela área da base (A) do cone de penetração (Equação: $R (Kgf * cm^{-2}) = F/A$). A equação final para cálculo de resistência mecânica a penetração neste estudo foi $R (Kgf * cm^{-2}) = 3,8692 + 11,7196 N$. O número de impactos foi transformado em resistência do solo à penetração, sendo que, os dados obtidos foram convertidos para MPa (Fórmula: $MPa = Kgf * cm^{-2} / 0,0981$).

Para avaliação da resistência do solo à penetração foi realizada uma amostragem por parcela, até a profundidade 40 cm e a tabulação dos dados foi realizada em planilha Excel sendo adotada uma ponderação a cada 2,5 cm de profundidade.

3.4.3.2 Análises químicas do solo

As coletas de solo para análise química foram realizadas nos seguintes momentos: antes da implantação das plantas de cobertura, após o corte das mesmas e após cada ciclo de cultivo da alface.

Para a caracterização química do solo, foram realizadas análises de solo, a partir de amostra retirada na área experimental com auxílio de um trado nas profundidades de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm. As amostras foram levadas ao Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Unioeste, Marechal Cândido Rondon – Paraná, onde foram determinados os seguintes atributos químicos do solo: pH CaCl_2 , fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO).

Para determinação dos atributos químicos do solo seguiu-se a metodologia proposta por Pavan et al. (1992).

O pH foi determinado em solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , relação solo/solução 1:2,5. A acidez potencial (H + Al) foi estimada por meio da leitura do pH após a adição de solução tamponada SMP (7,5) às amostras de solo. O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraídos pelo extrator Mehlich e determinados por espectrofotometria e fotometria de chama, respectivamente. O cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) foram extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e quantificados por espectrometria de absorção atômica e por titulação com NaOH 0,01 mol L^{-1} , respectivamente.

3.5 Análise estatística

Após a tabulação, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), sendo utilizado o software SAEG.

Para análise estatística das características produtivas da cultura da alface levou-se em consideração o delineamento experimental de blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas pelas plantas de

cobertura: feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e testemunha (sem cobertura, em pousio com controle das plantas espontâneas), e as subparcelas foram constituídas pelas cultivares de alface (Vanda e Verônica) e a subsubparcela pelo cultivo sucessivo de alface.

Para análise estatística das avaliações físicas e químicas do solo foi utilizado delineamento experimental de blocos casualizados com arranjo em parcelas subsubdivididas, sendo as parcelas constituídas das plantas de cobertura, a subparcela das épocas de avaliação e a subsubparcela das profundidades de coleta de solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações das plantas de cobertura

4.1.1 Produção de biomassa

Observou-se diferença estatística para massa fresca e seca das plantas de cobertura, sendo verificado maior acúmulo de massa para o milheto, que superou estatisticamente as demais plantas de cobertura estudadas (Tabela 2). Finholdt et al. (2009) verificaram também superioridade quanto ao acúmulo de massa fresca e seca do milheto em relação às demais espécies avaliadas em estudo sobre o potencial de diferentes adubos verdes na produção de biomassa e cobertura do solo.

Tabela 2: Valores médios de massa fresca e seca das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010 / 2011.

Plantas de cobertura	Massa fresca	Massa seca
	t ha ⁻¹	
Aveia	25,3 b	6,0 b
Milheto	64,8 a	9,5 a
Nabo	18,7 b	4,6 b
Feijão-vagem	12,9 b	3,4 b
CV (%)	33,1	35,1

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

A produtividade de massa seca do milheto aproximou-se da produtividade média de 10 t ha⁻¹ citada por Calegari (2004) para o estado do Paraná, caracterizando o elevado potencial de produção de fitomassa da cultura e sua importância como opção de cobertura do solo. Na literatura há relatos de produtividade ainda superiores para o milheto, Oliveira et al., (2002) alcançaram 14,2 t ha⁻¹ de milheto em estudo com plantas de cobertura e feijoeiro na região de Lavras. Suzuki e Alves (2006), em estudo com plantas de cobertura e sistemas de cultivo para soja, milho e algodão, em Selvíria, constataram produtividade de 11,8 t ha⁻¹ para o milheto.

A aveia apresentou produtividade de massa seca igual ao nabo e feijão-vagem e superior a produtividade média observada para a aveia por Finholdt et al.(2009), de 2,0 t ha⁻¹, em experimento realizado em Uberaba, confirmando a constatação destes autores de que a aveia apresenta melhor desenvolvimento no Sul do País, onde o clima em geral é mais ameno.

A média geral de produtividade de matéria seca das plantas de cobertura avaliadas neste estudo foi de 8,9 t ha⁻¹, superior aos 6,0 t ha⁻¹ citados por Darolt (1998) como a quantidade mínima ideal de adição de matéria seca em um sistema de rotação de culturas para a manutenção de adequada cobertura do solo. Apenas as culturas do nabo e do feijão vagem não alcançaram a produtividade mínima recomendada por estes autores, possivelmente pela menor capacidade de ocupar o espaço disponível em relação às gramíneas.

4.2 Características produtivas da cultura da alface

Não foi verificado efeito significativo da interação das plantas de cobertura e as cultivares de alface (Vanda e Verônica) para nenhuma das variáveis, por outro lado a interação entre plantas de cobertura e ciclos de cultivo da alface para massa fresca de folhas, massa fresca de parte aérea e massa seca de caule foi estatisticamente significativa. Para massa fresca de folha e parte aérea e massa seca de caule, observou-se diferença estatística entre as plantas de cobertura apenas no primeiro ciclo de cultivo da alface, com resultado inferior quando cultivada sobre palhada do feijão-vagem (Tabela 3) No segundo ciclo de cultivo da alface, observou-se diferença entre as plantas de cobertura apenas para massa seca de caule, constatou-se que o feijão vagem foi inferior ao nabo, embora ambos não tenham diferido das demais plantas de cobertura.

Considerando-se as plantas de cobertura no primeiro ciclo de cultivo da alface, observou-se diferença estatística entre estas para massa fresca de folha e parte aérea e massa seca de caule, com resultado inferior quando cultivada sobre palhada do feijão-vagem (Tabela 3). No segundo ciclo de cultivo da alface, observou-se diferença entre as plantas de cobertura apenas para a variável massa seca de caule, onde foi constatado que o feijão - vagem foi inferior ao nabo, embora ambos não tenham diferido das demais plantas de cobertura.

Provavelmente, o feijão-vagem proporcionou menor benefício às características produtivas da alface de primeiro cultivo em função de não constituir uma cultura de cobertura propriamente dita, tendo sido empregado no estudo com a finalidade de gerar uma fonte de renda para o produtor. A menor produção de material residual do feijão-vagem associada à taxa de decomposição rápida, característica das leguminosas com relação C/N em torno de 20 (EMBRAPA, 2012), podem ter sido as causas da menor eficiência desta cultura em cobrir e proteger o solo. Comparando-se os ciclos de cultivo da alface verificou-se melhores

características produtivas da cultura no primeiro ciclo de cultivo (Tabela 3), em função da cobertura morta proporcionada pelo manejo recente das plantas de cobertura resultando em um ambiente favorável ao desenvolvimento da cultura.

Tabela 3: Massa fresca de folhas (MFF), massa fresca da parte aérea (MFA) e massa seca de caule (MSC) de alface cultivada sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena – PR, 2010/2011.

Plantas de cobertura	MFF		MFA		MSC	
	Ciclos de cultivo					
	Primeiro	Segundo	Primeiro	Segundo	Primeiro	Segundo
-----g/planta-----						
Testemunha	198,22 aA	130,89 aB	237,81 aA	148,32 aB	8,31 aA	2,54 abB
Nabo	209,17 aA	157,52 aB	254,66 aA	170,01 aB	9,05 aA	3,29 aB
Milheto	230,77 aA	148,37 aB	278,28 aA	167,45 aB	9,20 aA	2,91 abB
Aveia	219,30 aA	141,03 aB	260,73 aA	159,52 aB	9,00 aA	2,93 abB
Feijão-vagem	146,05 bA	107,70 aB	173,46 bA	121,88 aB	5,87 bA	2,15 bB
CV (%)	18,33		18,65		10,93	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Um dos maiores benefícios da cobertura morta sobre a superfície do solo para as culturas, especialmente para hortaliças folhosas como a alface, é a redução da temperatura do solo, permitindo assim menor evaporação da água presente no solo devido à redução da temperatura neste ambiente como também relatado por Oliveira et al. (2002). Segundo Allen et al. (1998) há uma redução de cerca de 5% na evaporação de água, para cada 10% de superfície do solo efetivamente coberta por palhada.

O efeito benéfico da cobertura morta para a cultura da alface apesar de relatado na literatura ainda é pouco explorado com as cultivares crespas que ocupam a preferência do mercado consumidor. Lima et al. (2009) avaliando o desempenho da alface cultivar Regina em diferentes lâminas de irrigação com e sem utilização de cobertura morta oriunda da leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) observaram que a utilização da cobertura proporcionou maior peso fresco de plantas em relação a ausência de cobertura morta. Oliveira et al. (2008) avaliando gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura na produção da alface, observaram que o material remanescente das leguminosas (crotalária, guandu, mucuna cinza, eritrina e gliricídia) proporcionou melhores características de massa fresca de planta e diâmetro da cabeça para a alface Regina em dois ciclos consecutivos de cultivo em relação às

gramíneas (bambu, capim Cameroon e cana-de-açúcar), constatando maior teor de N na cultura cultivada sobre resíduos de leguminosas.

Outras culturas também têm sido beneficiadas pela cobertura morta. Madeira e Oliveira (2003) observaram efeito positivo da utilização de cobertura morta no cultivo da cebola, constatando bulbos de cebola maiores quando utilizadas plantas de cobertura formadoras de palhada, com destaque para a produtividade da cebola cultivada sobre as palhadas de milho e de sorgo. Nunes et al. (2006) estudando o rendimento do feijão cultivado sobre palhada de diferentes plantas de cobertura, observaram efeito positivo sobre as características produtivas do feijão, destacando-se a utilização de gramíneas como plantas de cobertura, visto que estas apresentaram maior produção de massa seca protegendo o solo por mais tempo.

Foi constatado efeito significativo da interação entre ciclos de cultivo e cultivares da alface sobre as variáveis, altura de planta, diâmetro e massa seca de caule (Tabela 4).

Tabela 4: Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DCA) e massa seca de caule (MSC) de alface cultivares Vanda e Verônica cultivadas sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Cultivares	AP (cm)		DCA (mm)		MSC (g)	
	Ciclos de cultivo					
	Primeiro	Segundo	Primeiro	Segundo	Primeiro	Segundo
Vanda	18,34 bA	17,01 bB	21,13 bA	16,33 aB	7,70 bA	2,80 aB
Verônica	21,74 aA	17,98 aB	22,61 aA	15,93 aB	8,86 aA	2,73 aB
CV (%)	4,93		7,59		10,93	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Com relação às cultivares em estudo, a cultivar Verônica foi superior à Vanda na primeira época de cultivo para todas as variáveis. No segundo ciclo de cultivo as cultivares não diferiram entre si, para diâmetro e massa seca de caule, enquanto para altura de planta a cultivar Verônica foi superior à Vanda. Os valores para altura de plantas variaram entre 17,01 e 21,74 cm, superando os dados obtidos por Saldanha et al. (2005) que verificaram altura média de plantas de 16,85 cm para a cultivar Verônica.

Quanto aos ciclos de cultivo, as duas cultivares apresentaram maiores valores no primeiro ciclo para as características, altura de planta, diâmetro e massa seca de caule, o que pode estar relacionado ao fato de que no segundo ciclo de cultivo da alface as temperaturas do ar eram mais elevadas.

A projeção da copa foi influenciada pelos fatores ciclos de cultivo e cultivares de alface isoladamente. Com relação às cultivares, a cultivar Verônica apresentou projeção de copa superior a cultivar Vanda, sendo que a projeção de copa para a cultivar Verônica foi de 733,8 cm², enquanto que para a cultivar Vanda foi de 690,8 cm². Quanto aos ciclos de cultivo, a projeção da copa mostrou-se superior no primeiro ciclo de cultivo, assim como as demais variáveis estudadas (Tabela 5). Complementa-se que a partir dos resultados de projeção de copa encontrados neste estudo pode-se recomendar que os espaçamentos de plantio da cultura da alface no segundo ciclo poderiam ser reduzidos, sendo que desta forma a área de plantio existente poderia ser mais bem aproveitada.

As variáveis, massa seca de folhas, massa seca da parte aérea, área foliar e número de folhas também foram influenciadas pelo ciclo de cultivo da alface (Tabela 5), sendo os maiores valores observadas no primeiro ciclo

Tabela 5: Projeção da copa (PC), massa seca de folhas (MSF) e aérea (MSA), área foliar (AF) e número de folhas (NF) de alface sobre cobertura morta de diferentes plantas de cobertura em dois ciclos consecutivos de cultivo. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Ciclos de cultivo	PC (cm²)	MSF (g/planta)	MSA (g/planta)	AF (dm²)	NF
Primeiro	790,81 a	61,81 a	70,09 a	2,59 a	25,47 a
Segundo	633,72 b	28,53 b	31,20 b	1,19 b	19,26 b
CV (%)	11,03	18,46	16,81	25,39	8,20

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

A massa seca de folhas no primeiro ciclo de cultivo da alface superou a média de 20,2 g por planta obtida por Saldanha et al. (2005), em estudo com alface crespa em cultivo convencional realizado de março a junho na cidade de Mossoró. Os resultados obtidos permitem inferir que o menor desenvolvimento da cultura da alface observado no segundo ciclo do cultivo está relacionado às altas temperaturas (Figura 1), e ainda pode ter uma relação com a menor cobertura do solo em função da avançada decomposição das plantas de cobertura, pois sabe-se que a cultura da alface é muito sensível às condições climáticas e que estas exercem grande influência no crescimento e desenvolvimento da espécie. Segundo Andriolo (1999), temperaturas máximas do ar, em torno de 25°C, podem diminuir o crescimento da cultura ao interferir no mecanismo de abertura e fechamento de estômatos, assimilação do CO₂ para a fotossíntese, distribuição de fotoassimilados e expansão foliar.

4.3 Avaliações dos parâmetros relacionados ao solo.

4.3.1 Atributos físicos do solo

4.3.1.1 Densidade, macroporosidade e microporosidade

Na tabela 6 são apresentados os dados obtidos para porosidade total, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo em função das diferentes plantas de cobertura.

Apenas a macroporosidade apresentou efeito significativo entre os tratamentos. A testemunha (sem planta de cobertura) apresentou maior porcentagem de macroporos, embora sem diferir estatisticamente das áreas com nabo e feijão. É importante salientar que as porcentagens de macroporos observadas neste estudo para todos os tratamentos encontram-se acima da porcentagem mínima de 10% exigida para suprir adequadamente o oxigênio necessário à respiração de raízes e de microorganismos do solo (TORMENA et al., 2002).

Tabela 6: Porosidade total, microporos, macroporos e densidade do solo cultivado com diferentes plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Plantas de cobertura	Porosidade total	Microporos	Macroporos	Densidade Mg m ⁻³
	----- % -----	----- % -----	----- % -----	
Testemunha	58,80 a	40,43 a	18,37 a	1,41 a
Aveia	56,21 a	40,86 a	15,35 b	1,42 a
Milheto	56,37 a	40,55 a	15,82 b	1,42 a
Nabo	56,88 a	40,14 a	16,74 ab	1,41 a
Feijão-vagem	56,32 a	40,00 a	16,32 ab	1,42 a
CV (%)	6,54	8,48	24,34	6,04

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

A porosidade total, microporosidade e a densidade do solo não apresentaram efeito significativo em função das diferentes plantas de cobertura sendo que os valores médios de microporosidade foram de 40,39%, porosidade total 56,91% e densidade 1,41 Mg m⁻³, valores estes superiores aos obtidos por Silva (2009) em estudo com cultivo de feijoeiro em sucessão a diferentes plantas de cobertura (aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum).

Houve interação significativa entre as épocas e profundidades de avaliação para as variáveis porosidade total, macroporosidade e densidade do solo (Tabela 7). Analisando as épocas de avaliação na profundidade de 0 - 10 cm observou-se comportamento semelhante

para as variáveis macroporosidade e porosidade total, com menores valores constatados após o primeiro ciclo de cultivo da alface, enquanto a primeira (após o manejo das plantas de cobertura) e terceira (após segundo ciclo de cultivo da alface) épocas de avaliação não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 7: Porosidade total, macroporos e densidade do solo em diferentes épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Épocas de avaliação	Porosidade total		Macroporos		Densidade	
	----- % -----					
	Profundidade					
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
Após o manejo das plantas de cobertura	61,71 aA	55,18 aB	22,14 aA	10,59 bB	1,35 abB	1,50 aA
Após primeiro ciclo de cultivo da alface	55,75 bA	55,28 aA	17,16 bA	14,92 aA	1,38 aB	1,44 bA
Após segundo ciclo de cultivo da alface	59,76 aA	53,83 aB	21,96 aA	12,37 bB	1,31 bB	1,51aA
CV (%)	6,54		24,34		6,04	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Maiores porcentagens para macroporos e porosidade total encontradas na avaliação realizada após o manejo das plantas de cobertura, podem estar relacionadas ao efeito do preparo do solo realizado no período anterior a implantação do experimento ou ainda pode estar relacionado ao efeito das plantas de cobertura nas características do solo, pois sistemas radiculares diferenciados são capazes de alterar a estrutura do solo, à medida que influenciam a forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros a elas associados. Dalastra (2010), estudando a influência de plantas de cobertura no cultivo de mini abóbora e nas características do solo, também observou porosidade total superior antes do cultivo da mini abóbora, logo após o corte das plantas de cobertura, em relação à porosidade observada após a colheita do primeiro ciclo.

Redução dos macroporos na profundidade 0 - 10 cm entre a primeira avaliação (após o manejo das plantas de cobertura) e a segunda avaliação (após primeiro ciclo de cultivo da alface) pode ter ocorrido em função da acomodação das partículas visto que não houve revolvimento do solo e que ocorreu uma pequena movimentação sobre o solo durante a colheita do primeiro ciclo da alface, realizada próximo ao período das amostragens. Após o segundo ciclo de cultivo da alface, o acúmulo de material orgânico e raízes no solo

provenientes do primeiro ciclo de cultivo da alface podem ter promovido uma reestruturação do solo refletindo-se em maior macroporosidade.

Na profundidade de 10 - 20 cm foi possível notar que os valores encontrados para macroporosidade foram menores após o manejo das plantas de cobertura e após o segundo ciclo do cultivo da alface enquanto que para porosidade total não observou-se diferença significativa nesta porção de solo.

A densidade do solo na profundidade de 0 - 10 cm foi menor na última avaliação (após o segundo ciclo de cultivo da alface), porém não se diferenciou da densidade encontrada após o manejo das plantas de cobertura. A densidade na profundidade 0 - 10 cm foi inferior se comparada à densidade na profundidade 10 - 20 cm. Esse aumento da densidade com a profundidade ocorreu provavelmente devido à maior quantidade de matéria orgânica na superfície. Pivetta et al. (2007) também obtiveram menor valor de densidade na camada de 0 - 10 cm, e os autores explicam estes dados devido a maior presença de raízes e matéria orgânica. Menores densidades do solo na camada mais superficial são resultado da melhor estruturação do solo nesta região pela ação dos microrganismos decompositores da matéria orgânica, sendo as plantas de cobertura potencializadoras deste processo, pois através do crescimento radicular e aporte de material orgânico ao solo proporcionam a abertura de galerias atuando como uma espécie de “arado biológico” (Madeira, 2010).

Para a variável microporosidade observou-se que não houve interação significativa entre as épocas e profundidade de avaliação do solo, demonstrando que os fatores atuaram independentemente.

Quanto às épocas de avaliação (Tabela 8) observa-se que maiores porcentagens de microporos foram encontradas após o manejo das plantas de cobertura, ou seja, com os cultivos sucessivos da alface ocorreu redução dos microporos e aumento dos macroporos (Tabela 6), o que pode estar relacionado ao efeito do desenvolvimento radicular na quebra de agregados e conseqüente aumento do diâmetro de poros.

Tabela 8: Microporosidade do solo em diferentes épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Épocas de avaliação	Microporosidade (%)
Após o manejo das plantas de cobertura	42,08 a
Após primeiro ciclo de cultivo da alface	39,48 b
Após segundo ciclo de cultivo da alface	39,63 b
CV (%)	8,48

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

Lopes et al. (2003) em estudo sobre a influência de plantas de cobertura nas entrelinhas da cultura do mamão sobre as propriedades físicas do solo, também observaram a tendência de redução na microporosidade e aumento da macroporosidade do solo com o cultivo da cultura principal.

Em relação à variável microporosidade nas profundidades de avaliação (Tabela 9) foi possível observar que maiores valores de microporos foram encontrados na camada de 10 – 20 cm.

Tabela 9: Microporosidade do solo nas profundidades 0 - 10 cm e 10 - 20 cm. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Profundidade (cm)	Microporosidade (%)
0 - 10	38,65 b
10 -20	42,14 a
CV (%)	8,48

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

Em geral, a microporosidade aumentou com a profundidade, enquanto a macroporosidade diminuiu (Tabela 7). Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (2009) e Argenton et al. (2005). Considerando que a principal função dos macroporos é a aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração, a redução da macroporosidade pode resultar em menor quantidade de água retida próximo à capacidade de campo e consequente aumento da quantidade de água retida em maiores tensões dificultando, neste caso, o aproveitamento de água pelas raízes na camada subsuperficial (BRADY e WEILL, 2002).

4.3.1.2 Resistência do solo a penetração

Ao se avaliar a resistência à penetração em três épocas distintas (após manejo das plantas de cobertura, após primeiro ciclo de cultivo da alface e após segundo ciclo de cultivo da alface) observou-se diferença estatística entre os tratamentos nas profundidades avaliadas apenas na segunda avaliação (após primeiro ciclo de cultivo da alface).

Com relação à resistência à penetração (R_p) de 0 a 40 cm verificou-se, que após o manejo das plantas de cobertura, nos primeiros 20 cm, o solo apresentou resistência a penetração menor que 0,5 MPa para todos os tratamentos (Figura 4). Esse efeito é decorrente, do preparo do solo (aração, gradagem e encanteiramento) que ocorreu na área antes da implantação do experimento. Para Goedert et al. (2002) o estado de compactação do solo

depende de vários fatores, entre os quais se destacam as características originais de cada solo e as práticas de manejo empregadas.

Na camada de 20 - 40 cm observou-se um progressivo aumento da resistência a penetração para praticamente todos os tratamentos avaliados. Nos tratamentos com o milho e feijão vagem foram observados valores de resistência entre 0,5 a 3,0 MPa. Para os demais tratamentos a resistência a penetração ficou entre 0,5 a 3,5 MPa. Segundo Camargo e Alleoni (1997), quando a resistência à penetração é menor do que 1,1 MPa não há limitação ao crescimento radicular, sendo o solo considerado de baixa resistência enquanto que, para valores entre 1,0 e 2,5 MPa, a resistência deve ser considerada pequena, ocorrendo pouca limitação ao crescimento radicular das culturas.

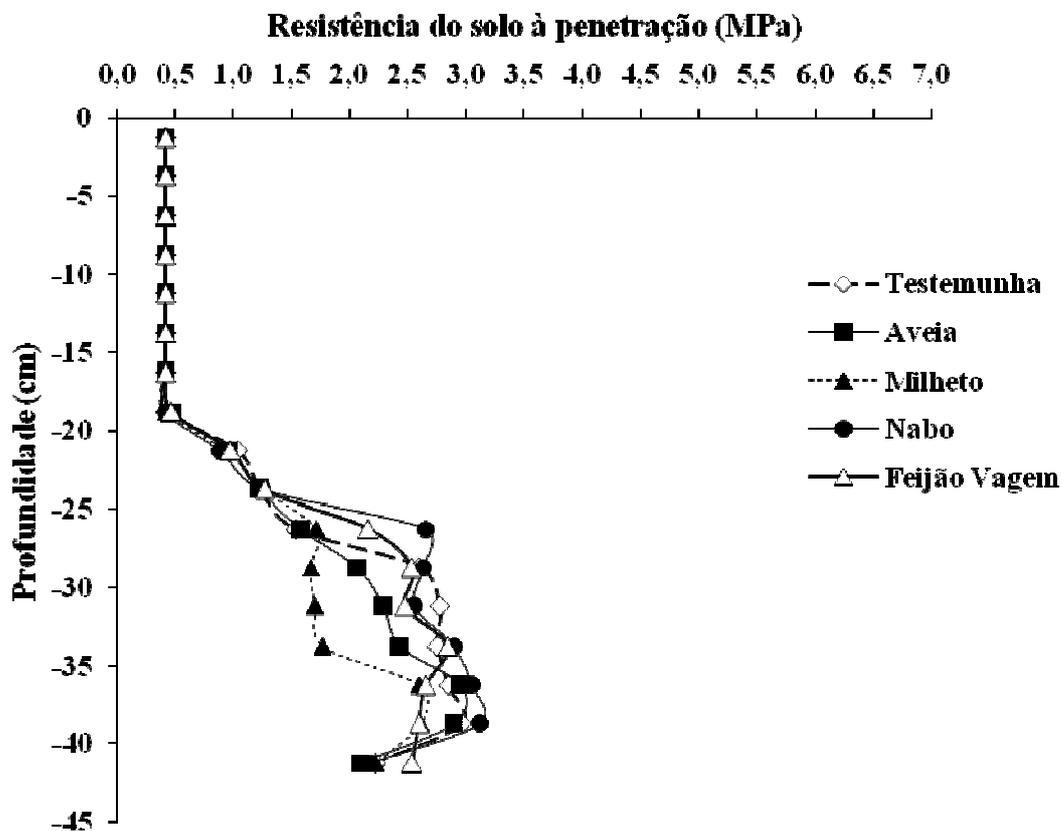


Figura 4: Resistência do solo à penetração após manejo das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Após o cultivo do primeiro e do segundo ciclo da cultura de alface (Figura 5) observou-se que até a profundidade de 20 cm não houve diferença estatística entre os tratamentos, e estes apresentaram resistência a penetração inferior a 2,5 MPa.

Considerando ainda a avaliação realizada após o primeiro ciclo de cultivo de alface na profundidade de 22 - 22,5 cm, a testemunha (sem cobertura do solo) e feijão-vagem alcançaram maiores valores de resistência a penetração, enquanto o nabo apresentou nesta profundidade menor resistência à penetração (1,5 MPa). Kubota et al. (2005) avaliando um solo após o cultivo do nabo encontrou incremento nos valores de densidade e resistência a penetração, na camada superficial deste, e atribuiu este resultado à pressão lateral exercida pelo crescimento expressivo de sua raiz principal da cultura do nabo.

Maiores valores de resistência a penetração foram encontrados na profundidade de 25 - 27,5 cm, sendo que os maiores valores obtidos foram encontrados no solo com feijão - vagem (7 MPa), não se diferenciando da testemunha que obteve nesta camada resistência à penetração de 5,5 MPa.

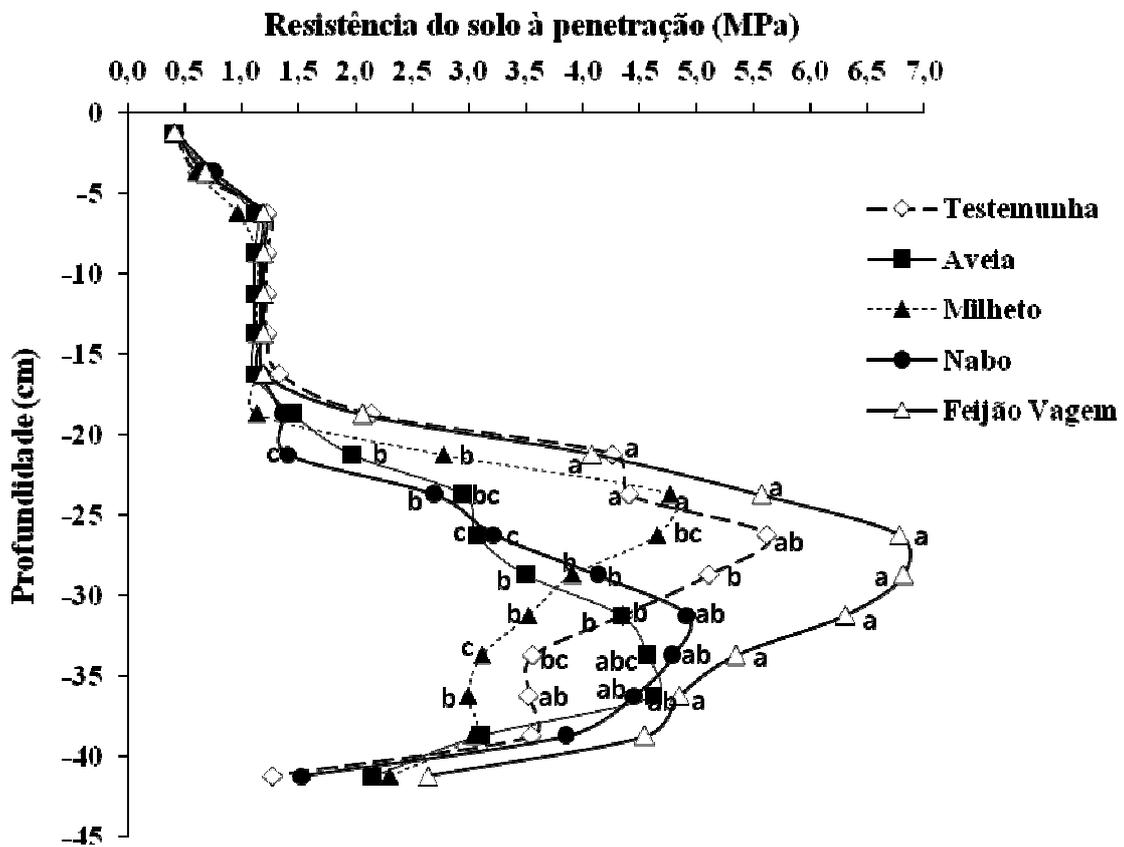


Figura 5: Resistência do solo à penetração após o primeiro ciclo de cultivo da alface, em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011. *Letras minúsculas iguais horizontalmente não se diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Em alguns trabalhos realizados, pesquisadores tem observado aumento da resistência a penetração em solos não cobertos, conforme observado neste estudo também. Lanzasova (2010) em seu trabalho avaliando as diferenças ocorridas nos atributos físicos de um solo,

com distintos sistemas de culturas de cobertura de verão e inverno em solo mantido permanentemente descoberto e em um campo nativo, verificou que o solo descoberto apresentou maior resistência à penetração na camada superficial.

Na profundidade de 32,5 - 35 cm o tratamento com milho apresentou solo com menor resistência a penetração. Resultado semelhante foi encontrado por Pires (2008) que em trabalho avaliando o efeito de plantas de cobertura do solo antecessoras ao cultivo de soja em plantio direto, concluiu que a cobertura com o milho proporcionou menor resistência do solo à penetração.

Após o cultivo do segundo ciclo de cultivo da alface (Figura 6) observou-se que até a camada de 20 cm todos os tratamentos apresentaram resistência a penetração inferior a 1,5 MPa.

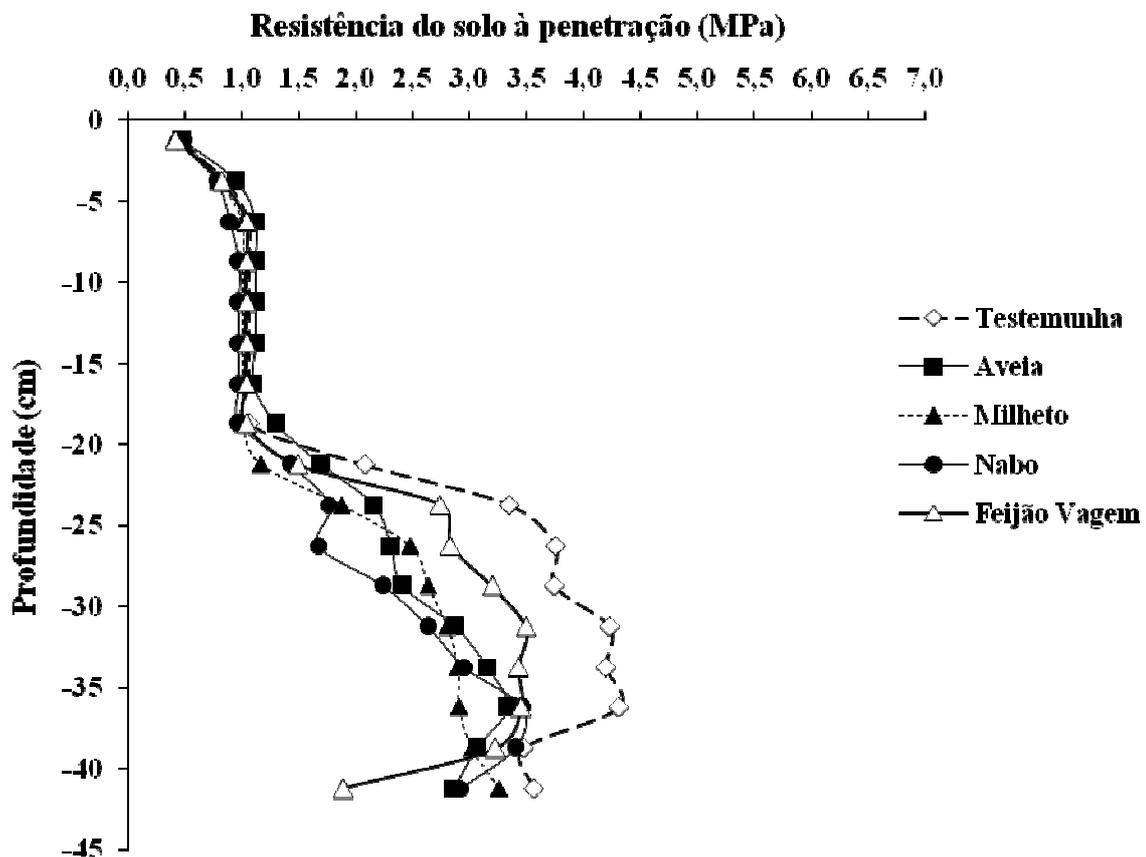


Figura 6: Resistência do solo à penetração após segundo ciclo de cultivo da alface, em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Na profundidade de 20 - 40 cm após o segundo ciclo de cultivo da alface observou-se uma redução nos valores de resistência a penetração em todos os tratamentos quando comparado a segunda época de avaliação (após primeiro ciclo do cultivo da alface). Todos os tratamentos, com exceção do tratamento testemunha (sem cobertura do solo) apresentaram

resistência a penetração inferior a 3,5 MPa. Esse resultado pode estar associado à deposição de material orgânico sobre o solo, com a decomposição das plantas de cobertura e mesmo de material residual da alface. Prado et al. (2002) avaliando a resistência a penetração concluíram que um solo em pousio por cinco anos comprometeu a qualidade do solo, em comparação com o solo sob cultivo intensivo.

Com base nesses índices, pode-se inferir que, em todas as épocas avaliadas e para todos os tratamentos, a resistência mecânica à penetração foi baixa na camada de 0 - 20 cm e provavelmente não houve limitações físicas ao crescimento do sistema radicular da cultura da alface nos dois ciclos de cultivo. Considerando que a resistência mecânica do solo à penetração permite inferir sobre o impedimento que o mesmo oferece ao crescimento das raízes (PEDROTTI et al., 2001), é possível constatar que o grau de resistência do solo encontrado na camada de 0 - 20 cm em todas as épocas de avaliação não interferiu no desenvolvimento da alface que possui sistema radicular muito ramificado e superficial explorando apenas os primeiros 20 centímetros do solo (FILGUEIRA, 2000).

4.3.1.3 Umidade do solo

Para a variável umidade do solo, verifica-se que houve interação significativa entre épocas de avaliação e profundidades de solo avaliadas (Tabela 10). Observa-se que para a primeira época de avaliação a camada de 10 - 20 cm apresentou maior umidade quando comparado as outras épocas. Ao se avaliar a camada 0 - 10 cm verificou-se após o primeiro ciclo de cultivo da alface maior umidade do solo, porém não se diferindo estatisticamente da umidade encontrada após o manejo das plantas de cobertura. Um fator que pode ter contribuído para a maior umidade do solo após o manejo das plantas de cobertura e após o primeiro ciclo de cultivo da alface, provavelmente foi à proteção do solo proporcionada pelos resíduos das plantas de cobertura, que era maior que o encontrado após o segundo ciclo de cultivo da alface. Ainda somado a esse fator às maiores médias de temperatura do ar (Figura 1) que ocorreram neste período (após segundo ciclo de cultivo da cultura da alface). Com a cobertura do solo, ocorre menor perda de água por evaporação, além de diminuir as oscilações da temperatura e conservar a umidade (BRAGAGNOLO et al., 1990). Para Wanderer et al. (2007), conservando-se a umidade do solo, diminui-se a necessidade de irrigações.

Observa-se certa relação entre a umidade do solo e a produção da cultura da alface, sendo que maiores valores de massa fresca e seca de folhas e da parte aérea, projeção da copa

e área foliar foram obtidos no primeiro ciclo de cultivo da alface, época que corresponde as maiores porcentagens de umidade do solo. Segundo Caires (2000) deve-se considerar a importância da umidade do solo nos processos de transporte e de absorção de nutrientes. Este mesmo autor concluiu que em um sistema de plantio direto a elevada produção de soja esteve relacionada a adequada absorção de nutrientes pela cultura, possivelmente em decorrência de maior umidade disponível neste solo.

Tabela 10: Umidade do solo em função das épocas e profundidades de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Profundidade (cm)	Épocas de avaliação		
	AMPC	APCCA	ASCCA
	Umidade (%)		
0 – 10	19,12 bAB	20,27 aA	17,82 bB
10 – 20	24,14 aA	21,41 aB	19,92 aC
CV (%)	10,45		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$. AMPC= após o manejo das plantas de cobertura; APCCA= após primeiro ciclo de cultivo da alface; ASCCA= após segundo ciclo de cultivo da alface.

Analisando as profundidades de coleta do solo (0 - 10 cm e 10 - 20 cm) observou-se que após o manejo da plantas de cobertura e após o segundo ciclo de cultivo da alface a maior umidade foi encontrada na camada de 10 - 20 cm. Tais resultados corroboram com os obtidos por Oliveira et al. (2005) que avaliando diferentes coberturas de solo inferiram, que independente da cobertura houve um incremento da umidade com a profundidade de amostragem. Na avaliação após o primeiro ciclo de cultivo da alface não foi verificado diferença de umidade entre as profundidades.

Na figura 7 são observadas as médias das porcentagens de umidade do solo para os diferentes tratamentos. Verifica-se que o solo coberto com milho e o solo coberto por aveia foram os tratamentos que proporcionaram maior umidade ao solo. Oliveira et al. (2002), em seu trabalho destacaram que o milho com produção de matéria seca acima de 14 t ha^{-1} , foi a melhor opção de planta de cobertura, pois possivelmente propiciou maior proteção ao solo e maior retenção de umidade, diminuindo o déficit hídrico e favorecendo a melhor formação de grãos da cultura do feijão. No entanto, Derpsch et al. (1985) demonstraram resultados onde os teores de umidade do solo foram mais elevados nos resíduos de aveia preta.

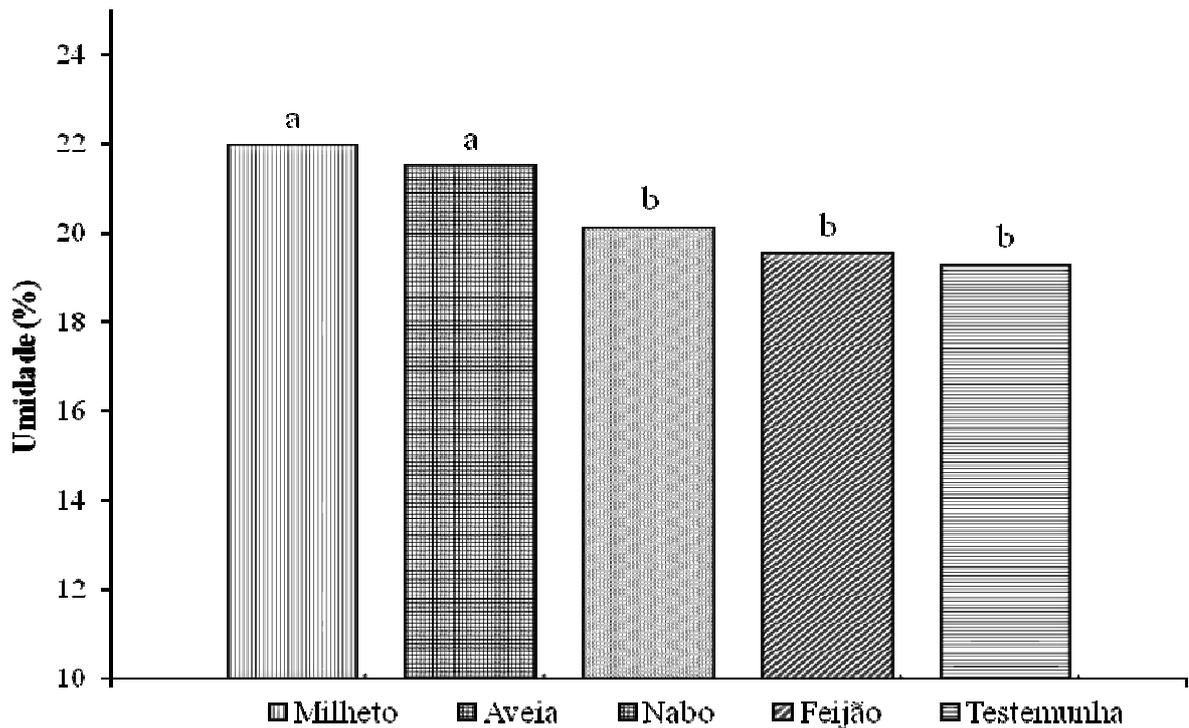


Figura 7: Umidade do solo sob cobertura morta de milho, aveia, nabo, feijão vagem e solo sem cobertura (testemunha). Santa Helena - PR, 2010/2011.

O tratamento composto pela cobertura de nabo, feijão vagem e o sem cobertura proporcionaram menores teores de umidade ao solo. Oliveira et al. (2011) em estudo com a cultura de beterraba comprovaram que a ausência de cobertura morta no solo proporcionou maiores perdas de água por evaporação, além da maior evapotranspiração da cultura, sendo que o uso da cobertura do solo com gramínea ou leguminosa minimizou de forma expressiva a demanda hídrica da cultura.

Pode se ressaltar que o percentual de umidade do solo neste estudo foi proporcional a quantidade de massa fresca produzida pelas plantas de cobertura (Tabela 2), ou seja, quanto maior a quantidade de massa depositada sobre o solo mais elevada a umidade.

4.3.2 Atributos químicos do solo

Para os atributos químicos do solo houve interação significativa entre épocas de avaliação e plantas de cobertura para pH (Tabela 11). Observa-se que o pH se manteve próximo a 5,0 (acidez moderada) na maior parte dos tratamentos e épocas de avaliação, sendo

tal pH inferior ao valor considerado desejável (6 - 6,8) para o desenvolvimento e produção da cultura da alface (FILGUEIRA, 2005).

Para os tratamentos testemunha e feijão é possível notar médias de pH menores após o segundo ciclo de cultivo da alface quando comparado a primeira avaliação (após o manejo das plantas de cobertura). No tratamento com milho e nabo não foi observado diferença significativa para as épocas de avaliação, já o tratamento com aveia apresentou menor valor de pH nas duas primeiras avaliações, após o manejo das plantas de cobertura e após o primeiro ciclo de cultivo da alface respectivamente.

Tabela 11: Valores de pH (CaCl_2) do solo em função das plantas de cobertura e épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Plantas de Cobertura	Épocas		
	AMPC	APCCA	ASCCA
Testemunha	4,97 aA	4,93 aA	4,45 cB
Aveia	4,76 aB	4,73 abB	5,12 aA
Milheto	4,99 aA	4,88 aA	4,87 bA
Nabo	4,98 aA	4,89 aA	4,81 bA
Feijão Vagem	4,79 aA	4,53 bB	4,33 cB
CV (%)	4,87		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

AMPC = após o manejo das plantas de cobertura; APCCA = após primeiro ciclo de cultivo da alface; ASCCA = após segundo ciclo de cultivo da alface.

Comparando os tratamentos, observaram-se diferenças significativas somente na segunda e terceira época de avaliação, ou seja, após o primeiro e segundo ciclo de cultivo da alface. Após o primeiro ciclo de cultivo da alface verificou-se que o feijão vagem apresentou o menor valor de pH porém sem se diferir do tratamento composto pela cobertura de aveia que também não se diferenciou dos demais tratamentos que obtiveram médias superiores.

Na terceira época de avaliação (após segundo ciclo de cultivo da alface) observaram-se médias superiores da variável pH para o tratamento com aveia, seguido por médias intermediárias pelos tratamentos compostos pelas plantas de cobertura milho e nabo, e menores valores para o tratamento com cobertura de feijão vagem e o testemunha (sem cobertura).

A redução no pH pode ser atribuída ao processo de decomposição da matéria orgânica em função da liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição de restos culturais

(BAYER, 1992). Complementa Oliveira (2005) que no processo da decomposição da matéria orgânica há formação tanto de ácidos orgânicos como de inorgânicos. Os ácidos inorgânicos como ácido sulfúrico e ácido nítrico e alguns ácidos orgânicos fortes são potenciais supridores de íons H^+ do solo e podem ser associados à elevação da acidez do solo.

Outro fator responsável que pode ter contribuído para a acidificação do solo foi a adição de uréia como fonte de nitrogênio. Segundo Blevins et al. (1977) adubos nitrogenados acidificam o solo, devido a produção de prótons durante a nitrificação do amônio (BLEVINS et al., 1977)

Quanto às épocas de avaliação houve diferença para o potássio, cálcio e soma de bases (Tabela 12).

Tabela 12: Valores médios de potássio (K), cálcio (Ca) e soma de bases (SB), submetidos a diferentes épocas de amostragem. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Épocas de avaliação	K	Ca	SB
	----- $cmol_c dm^{-3}$ -----		
Após o manejo das plantas de cobertura	0,63 a	7,36 a	9,65 a
Após primeiro ciclo de cultivo da alface	0,40 b	6,73 b	8,68 b
Após segundo ciclo de cultivo da alface	0,38 b	6,13 c	7,84 c
CV (%)	29,34	12,24	11,10

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Com base nos resultados, observa-se que houve redução dos valores de potássio, cálcio e soma de bases com o decorrer das épocas de avaliação, sendo que valores superiores destas variáveis foram obtidos após o manejo das plantas de cobertura.

As reduções nos teores de cátions trocáveis (potássio, cálcio) com o decorrer das épocas avaliadas podem estar relacionadas à absorção destes nutrientes pela cultura da alface. Deve-se levar em consideração que estes resultados foram obtidos em função do curto espaço de tempo, pois em geral, há uma tendência de aumento nos teores de nutrientes como potássio (K), cálcio (Ca) e também outros como fósforo (P) e magnésio (Mg) em solos manejados sob sistemas que priorizam a cobertura do solo, como no plantio direto (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

No referido estudo observa-se em todas as épocas de avaliação valores de cálcio e potássio relativamente altos, ou seja, acima do necessário

Para as variáveis fósforo (P), potássio (K) e acidez potencial (H + Al) houve interação entre os tratamentos e as profundidades de amostragem do solo (Tabela 13). Comparando as profundidades de amostragem (0 - 20 e 20 - 40 cm), observa-se que, valores superiores para essas variáveis foram obtidos na profundidade de 0 - 20 cm.

Tabela 13: Fósforo (P), potássio (K) e acidez potencial (H + Al) do solo em função das plantas de cobertura e profundidades de amostragem. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Plantas de cobertura	P		K		H+Al	
	mgdm ³		cmol _c dm ⁻³			
	Profundidade (cm)					
	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40
Testemunha	36,27 bA	12,90 aB	0,48 bA	0,34 aB	4,86 bA	4,69 aA
Aveia	61,80 aA	12,52 aB	0,71 aA	0,33 aB	5,92 aA	4,69 aB
Milheto	34,35 bA	12,17 aB	0,55 bA	0,28 aB	6,10 aA	4,35 aB
Nabo	49,95 abA	12,55 aB	0,73 aA	0,40 aB	5,93 aA	4,34 aB
Feijão-vagem	59,48 aA	17,28 aB	0,53 bA	0,35 aB	5,96 aA	4,72 aB
CV (%)	62,55		29,34		16,54	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Na profundidade 0 - 20 cm o fósforo (P), potássio (K) e acidez potencial (H + Al) acidez apresentaram efeito significativo em função das culturas de cobertura, enquanto que na profundidade de 20 - 40 cm não foi observada diferença entre os tratamentos. Na profundidade de 0 - 20 cm maiores valores de fósforo (P), foram obtidos no solo coberto por aveia e feijão - vagem, já o potássio (K) foi encontrado em maior quantidade nos tratamentos compostos pelas plantas de cobertura aveia e nabo. Complementa - se que valores potássio entre 0,31 e 0,60 cmol_c dm⁻³, e valores de fósforo entre 61 e 120 mgdm³ são considerados altos (RAIJ et al., 1997).

Para acidez potencial (H + Al) verificou-se na profundidade de 0 - 20 cm que no solo com tratamento testemunha (sem cobertura) obteve-se menor valor para essa variável, enquanto os demais tratamentos foram superiores em relação à testemunha, mas não se diferenciaram entre si.

Na Tabela 14, observa-se que houve interação entre as profundidades de amostragem do solo e as épocas de avaliação para as variáveis fósforo (P), pH (CaCl₂), acidez potencial (H + Al), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%). Analisando a acidez potencial, comparando-se as épocas de avaliação (Tabela 14), tanto na profundidade de 0 - 20 cm quanto na profundidade de 20 - 40 cm, observaram-se maiores médias na última avaliação (após o

segundo cultivo de cultura da alface). Tais resultados corroboram com Brito (2005), que estudando a aplicação de resíduo orgânico no solo observou que, o valor da acidez potencial (H+Al) foi superior ao observado no tratamento testemunha (sem resíduo orgânico) e ainda quando se considerou o efeito das épocas de avaliação, os menores valores para acidez potencial (H+Al), foram observados no início da implantação do experimento. Estes resultados indicaram uma variação sazonal desta variável, possivelmente associada à atividade biológica do solo e à decomposição dos resíduos.

Na profundidade de 0 – 20 cm os teores de fósforo (P) e acidez potencial (H + Al) apresentaram-se mais elevados após o segundo ciclo de cultivo da cultura de alface. O teor mais elevado de fósforo na última época de avaliação na profundidade de 0 - 20 cm pode ser associado às adubações fosfatadas realizadas antes do plantio da alface nos dois ciclos sucessivos de cultivo da cultura.

Tabela 14: Valores de Fósforo (P), pH (CaCl₂), acidez potencial (H + Al), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) do solo em função das profundidades e épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Épocas de avaliação	P		pH		H + Al		Mg		V	
	mgdm ³				----- cmol _c dm ⁻³ -----				%	
	Profundidade (cm)									
	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40	0 - 20	20 - 40
AMPC	28,67bA	10,98aB	4,88aA	4,92aA	4,47cA	4,19bA	1,70aA	1,61bA	68,24aA	69,87aA
APCCA	39,74bA	8,78aB	4,59bB	4,99aA	6,03bA	4,45bB	1,25bB	1,85aA	57,97bB	66,71bA
ASCCA	76,71aA	20,69aB	4,44bB	4,99aA	6,76aA	5,04aB	1,21bB	1,45bA	53,60cB	61,20cA
CV(%)	62,55		4,87		16,54		19,76		7,47	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Duncan, $p \leq 0,05$.

Observou-se que na profundidade de 0 - 20 cm os valores de P foram relativamente superiores aos observados na profundidade de 20 - 40 cm. Este acúmulo de P na camada superficial do solo ocorreu em função principalmente da aplicação de fertilizantes fosfatados em superfície. Em estudo, Gonçalves (1997) encontrou um acúmulo de fósforo na superfície e atribuiu esse efeito à baixa mobilidade desse nutriente no solo, às adubações superficiais e ao sistema de manejo do solo (plantio direto).

Segundo Bayer (1992) o não revolvimento do solo influencia no acúmulo de P na camada superficial, pois a ausência de incorporação deste adubo ao solo ocasiona reduzida fixação/adsorção do fósforo em função do menor contato do elemento com o solo. Conforme

relata Coelho e Verlengia (1973) outro fator que contribui para o elevado conteúdo de fósforo nas camadas superficiais do solo é a baixa solubilidade dos compostos de fósforo na solução do solo, impedindo que ele se perca por lixiviação.

Quanto à acidez potencial (H+Al) observou-se aumento com o decorrer das épocas de avaliação enquanto o pH apresentou certa redução com as épocas (Tabela 14), sendo um comportamento já esperado, pois à medida que o pH diminui, o valor da acidez potencial tende a aumentar. Segundo Tomé Júnior (1997) há uma tendência de ocorrer maiores teores de acidez potencial (H+Al) em solos mais ricos em matéria orgânica, principalmente se apresentarem pH muito baixo.

Os maiores teores de acidez potencial (H +Al) na terceira época, nas duas camadas amostradas pode ter ocorrido pelos mesmos fatores responsáveis pela diminuição do pH, ou seja pela decomposição das plantas de cobertura ou ainda pela aplicação de uréia durante os cultivos sucessivos da alface.

Os valores de saturação por bases (V%) decresceram com as épocas de avaliação, sendo que na avaliação após o manejo das plantas de cobertura obteve-se maiores valores para esta variável. Houve diferença significativa entre as profundidades nas avaliações (após o primeiro e segundo cultivo da cultura da alface) encontrando-se maiores valores na profundidade de 20 - 40 cm. Os resultados de saturação de bases (V%) obtidos neste trabalho encontram-se abaixo do considerado ideal (70%) conforme relatado por RAIJ et al. (1997). Considerando que a saturação por bases (V%) representa a proporção da CTC ocupada por bases trocáveis, a baixa porcentagem de saturação por bases significa predominância de hidrogênio e alumínio no complexo de troca (EMBRAPA, 2004).

Em relação ao magnésio (Mg), observa-se na profundidade 0 - 20 cm que maiores valores foram obtidos na primeira avaliação ou seja após o manejo das plantas de cobertura, no entanto na camada de 20 - 40 cm valores mais elevados de magnésio foram encontrados na avaliação realizada após o primeiro ciclo de cultivo da alface. A redução nos teores de magnésio na profundidade de 0 - 20 cm, entre a primeira (após manejo das plantas de cobertura) e segunda época de avaliação (após cultivo do primeiro ciclo de cultivo da cultura da alface) pode estar relacionada à absorção desse nutriente pela cultura principal (alface) já que e na camada mais superficial do solo (0 - 20 cm) que encontra-se a maior porcentagem de raízes da alface.

Com relação aos teores de matéria orgânica do solo (Tabela 15), não houve diferença significativa entre os tratamentos, porém observaram-se maiores valores médios para a cultura do nabo e milho, 18,88 e 18,77 gdm^{-3} , respectivamente. O nabo e milho são culturas que

proporcionam bons teores de matéria orgânica ao solo, desenvolvem um sistema radicular profundo, o que permite à planta aproveitar melhor os nutrientes que estão abaixo da camada superficial do solo, auxiliado assim na descompactação, reestruturação do solo e permitindo acesso à água em períodos de seca (SALTON e KICHEL, 1998).

Na tabela 15 são apresentados também os valores de matéria orgânica em função das profundidades de amostragem.

Observa-se que maior quantidade de matéria orgânica foi obtida na profundidade de 0 – 20 cm. De acordo com Centurion et al. (1985) em áreas com sistema de plantio direto há uma tendência de concentração dos nutrientes e da matéria orgânica nos primeiros centímetros de solo.

Neste estudo ainda observando teores iniciais de matéria orgânica (Tabela 1), nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm onde foram encontrados 18,45 e 14,35 gdm⁻³, respectivamente, pode-se verificar que houve um leve aumento nestes teores em comparação as avaliações subsequentes realizadas após corte das plantas de cobertura, onde encontrou-se teores médios de matéria orgânica de 18,48 gdm⁻³ na profundidade de 0 - 20 cm e 16,49 gdm⁻³ na profundidade de 20 - 40 cm. Este aumento nos teores de matéria orgânica pode estar relacionado a decomposição das plantas de cobertura.

Tabela 15: Matéria orgânica (MO) do solo em função das profundidades de amostragem e em função das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.

Profundidade ----- cm -----	Matéria Orgânica ----- g dm ⁻³ -----
0 - 20	18,48 a
20 - 40	16,29 b
Tratamentos	Matéria Orgânica ----- g dm ⁻³ -----
Testemunha	14,95 a
Aveia	16,80 a
Milheto	18,88 a
Nabo	18,77 a
Feijão - vagem	17,52 a
CV (%)	19,52

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Duncan, p ≤ 0,05.

Baseando-se em Tomé Júnior (1997), define-se que os teores matéria orgânica encontrados neste estudo são considerados médios. Segundo o mesmo autor o teor de matéria orgânica diminui com a profundidade, e nas profundidades abaixo de 20 cm geralmente os valores desta variável são menores que 15 gdm⁻³. Salienta ainda que dificilmente um solo

utilizado para agricultura apresentará teores elevados de matéria orgânica, sendo que após anos de cultivo esse teor se estabiliza em torno de 25 a 30 gdm⁻³ em solos argilosos.

De forma geral pode-se afirmar que em relação aos atributos químicos do solo em especial ao teor de matéria orgânica, o período de avaliação do referido experimento foi curto, tendo em vista que seria necessário um período mais longo de avaliação para obter - se respostas conclusivas.

5 CONCLUSÕES

- A cultivar Verônica foi superior a cultivar Vanda nas condições do estudo;
- A presença da cobertura morta aliada a umidade do solo proporcionada por esta cobertura, beneficiou a cultura da alface apenas no primeiro ciclo de cultivo;
- O milheto destacou-se como planta de cobertura pelo excelente potencial na produção de biomassa e cobertura do solo;
- A porcentagem de macroporos apresentou-se acima da exigência mínima;
- A microporosidade aumentou com a profundidade, enquanto a macroporosidade diminuiu;
- O tratamento com cobertura de feijão vagem e a testemunha de forma geral apresentaram maiores valores resistência mecânica a penetração.
- Quanto à acidez potencial (H+Al) houve um aumento com o decorrer das épocas e profundidades de avaliação enquanto o pH apresentou certa redução com as épocas;
- Foi observado acúmulo de fósforo na camada superficial do solo;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-BAKI, A.; TEASDALE, J. R. A no-tillage tomato production system using hairy vetch and subterranean clover mulches. **Hort Science**, Alexandria, v. 28, p. 106-108, 1993.

ABDUL-BAKI, A.; MORSE, R.; DEVINE, T.; TEASDALE, J.R.. Broccolis production in forrage soybean and foxtail millet cover crop mulches. **Hort Science**, Alexandria, v. 32, p. 836-839, 1997.

ADEGAS, F. S. Manejo integrado de plantas daninhas em plantio direto na pequena propriedade. In: II SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1999, Passo Fundo. **Resumos de Palestras**, Passo Fundo, p. 7– 14.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura de sucessão. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: Ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Palltti, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; GIACOMINI S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.

AKUNE, V. S. C. AKUNE, V. S. C; YANO, É. H.; BENEZ, S. H.; SEKI, A. S.; SILVA, P. R. A. Demanda energética na semeadura da aveia preta em diferentes sistemas de manejo do solo. In: XXI Congresso de Iniciação Científica - UNESP, 2009, São José do Rio Preto. **Anais...** São José do Rio Preto: CGB/PROPe UNESP, 2009.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115- 119, 1995.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; DE PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p.

ALMEIDA, J. A.; ILDEGARDIS, B.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; JUNIOR, W. A. Z. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445, 2005.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas para cobertura do solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.

ALVES, E. U. **Produção e qualidade de sementes de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes e doses de matéria orgânica.** João Pessoa, 1999. 109p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Paraíba.

AMADO, T. C. A.; SILVA, E.; TEIXEIRA, L. A. J. Cultivo mínimo de cebola: máquina para o preparo do solo nas pequenas propriedades. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 5, p. 25-26, 1992.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas.** Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FLECK, N. G.; BORTOLINI, C. G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeito do manejo mecânico e químico da aveia –preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 851-860, 2001.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 425-435, 2005.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas.** Porto Alegre, 1992. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L.; DEPOLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1461-1468, 2001.

BECKER, M. **Efeitos do potássio e da densidade do solo na morfologia das raízes do milho, suprimento e influxo de K, Ca e Mg.** Porto Alegre, 1984. 139f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 341-358, 1990.

BENGOUGH, A. G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, v. 189, p. 155-164, 1997.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, v. 69, p. 383-386, 1977

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

BONAMIGO, L. A. Milheto como cobertura no sistema, benefícios do melhoramento da cultura. In: 7º ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2003. p. 37-55.

BORGES, L. M. **Controle de viroses em alface por meio de métodos integrados de manejo da cultura**. Botucatu, 2006. 118f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 960p.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 369-374, 1990.

BREWER, R.; SLEEMAN, J. R. Soil structure : attempts at its quantitative characterization. **Journal Soil Science**, v. 11, p. 172-185, 1960.

BRITO, O. R.; VENDRAME, P. R. S.; BRITO, R. M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférrico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 33-40, 2005.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990. p37. (Boletim técnico, 35).

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JACINTO JR., L. **Plantio direto e rotação de culturas. Experiência em Latossolo Roxo**. Floresta: IAPAR/COCAMAR/ZENECA, 1985-1992. (Relatório mimeografado).

CALEGARI, A. **Fazer Plantio Direto de Qualidade! Direto na qualidade**, n.2 IAPAR/ITAIPU BINACIONAL, 2001. (Informativo técnico).

CALEGARI, A. Alternativas de culturas para rotação em Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 80, 2004.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o crescimento das plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 2ª ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997.132p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CASTELLANE, P. D.; VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Feijão-de-vagem** (*Phaseolus vulgaris* L.): cultivo e produção de sementes. Jaboticabal: FUNEP/FCAV-UNESP, 1988. 60p.

CASTRO, C. M.; ALMEIDA, D. J.; RIBEIRO, R. L. D.; CARVALHO, J. F. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 495-502, 2005.

CÁSSERES, E. **Producción de hortalizas**. São José: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1980. 387 p.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 267-270, 1985.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

CHAGAS, R. C. S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho**. Piracicaba, 2004. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 53-60, 2001.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2. Ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino agrícola, 1973.

COLOMBARI, L. F; GISH, J. K; ECHER, M. M; SCHENEIDER, R. P; GUIMARÃES, V. F; OLIVEIRA, P. SR; GERHARDT IFS. Efeito do manejo do solo sobre a produtividade do pimentão na região Oeste do Paraná. 2010. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n 2, jul. 2010. CD-Rom..

CORREIA M. E. F.; ANDRADE A. G. Formação de serapilheira. In: SANTOS GA; CAMARGO FAO. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 97-225.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CULTIVAR. **Plantio direto ocupa 70% das áreas de lavoura de grãos**. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/noticia.asp?id=36373>>. Acesso em 26 nov. 2009.

DALASTRA, G. M. **Cultivo da mini abóbora na região oeste do Paraná, em função de diferentes plantas de cobertura, em dois sistemas de manejo do solo**. Marechal Cândido Rondon, 2010. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná

DALASTRA, M. D; ECHER, M. M; SCHNEIDER, R. P; COLOMBARI, L. F; GISH, J. K; FIAMETTI, M. S; GUIMARÃES, V. F; OLIVEIRA, P. S. R. Avaliação da qualidade e produtividade de seis cultivares de berinjela em sistema de plantio direto e convencional, na Região Oeste do Paraná. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, agost. 2009. CD-Rom.

DAROLT, M. R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: Iapar, 1998. p. 16-45 (Circular, 101).

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ, 1991. 272p. (GTZ. Sonderpublikation, 245).

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 1992. 80p. (Circular, 73).

DICK, W. A.; Mc COX, E. L.; EDWARRDS, W. M.; LAL, R. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, Madisom, v. 83, p. 65-73, 1991.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3-11, 2000.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2004. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Feijao/FeijaoVarzeaTropical/solos>. Acesso em 15 de junho de 2011.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Soja**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br>. Acesso em 22 de junho de 2011.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In. PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES, 1982, Madison. **Proceedings**. American Society of Agronomy, 1982, p. 91-104.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 321-328, 2006.

FAHL, J. L.; CAMARGO, M. B. P. C.; PIZAAINATO, M. A. **Instrumentos agrícolas, para as principais culturas econômicas**. 6 ed. Campinas: IAC, 1998. p. 173-174. (IAC, Boletim, 2000).

FERNANDES, F. A. **Persistência de palhada de plantas de cobertura em função de doses de silício e resposta do feijoeiro em sucessão**. Botucatu, 2008. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 195-199, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. Asteráceas – alface e outras hortaliças herbáceas. In: FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: editora Ceres, 2000. v. 1, p. 289- 295.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2003.412 p.

FINHOLDT, R. S.; ASSIS, A. M. ; BISINOTTO, F. F.; AQUINO JÚNIOR, V. M.; SILVA, L. O.. Avaliação da biomassa e cobertura do solo de adubos verdes. **FAZU em Revista**, v. 6, p. 11-52, 2009.

FONTES, P. C. R. Preparo do solo para plantio de hortaliças. IN: FONTES, P. C. R. **Olericultura: Teoria e prática**. Viçosa, 2005. p. 79-91.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio Direto**. Passo Fundo: Ideia Sul, 1996. 207p.

GIACOMINI, S. J. **Consortiação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto**. Santa Maria, 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 27, p. 325-334, 2003.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C.. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 223-227, 2002.

GONÇALVES, C. N. **Plantas de cobertura do solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo do solo e na produtividade do milho em sucessão, sob plantio direto**. Santa Maria, 1997. 115p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria.

GOTO, R. A cultura de alface. In: **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: editora Unesp, 1998. v. 1, p. 137- 159.

GRUSAK, M. A.; PEZESHGI, S.; O'BRIEN, K. O.; ABRANS, S. A. Intrinsic Ca labelling of green bean pods for use in human bioavailability studies. **Journal Science Food Agronomic**, v. 70, p. 11-15, 1996.

GUERIF, J. L'analyse de la porosité: Application à l'étude Du compactage des sols. In: MONIER, G.; GROSS, M. J. (Eds.). **Soil compaction and regeneration**, Roterdan: CEE, 1987. p. 122-131.

HAGGAR, J. P.; TANNER, E.V.J.; BEER, J.W.; CASS, D.C.L. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1363-1378, 1993.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 331-340, 2001.

HERVATIN, C. M.; TEIXEIRA, N. T. Micronutrientes na produtividade do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Ecosistema**, v. 15, p. 15-19, 1999.

JONES, J. N.; MOODY, J. E.; SHEAR, G. M.; MOSCHELER, W. W.; LILLARD, J. L. The no-tillage system for corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 17-20, 1968.

JONG V. L. Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 233-238, 2001.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia. Relações solo - planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip of soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 50-158, 2005

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; KIRKSEN, C. Elements of soil physics. **Elsevier**, Amsterdam, 1983. 228p. (Developments in Soil Science, 13)

LADD, J. N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residue decomposition in soils sown to wheat in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 13, p. 251-256, 1981.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1333-1342, 2010.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

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

LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; SOUZA, A. P.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D. Desempenho da alface em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1503-1510, 2009.

LOPES, L.C.; CARVALHO, J. E. B.; ARAÚJO, A.M.A.; SOUZA, L.S.; CALDAS, R.C.; DALTRO, C.; CARVALHO, A. L.; SANTOS, R. Manejo de coberturas vegetais e seus efeitos sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico coeso e produtividade do mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Magistra**, v. 15, 2003.

LUXMOORE, R. J. Micro-, meso-, and macroporosity of Soil. **Soil Science Society**, Amsterdam, v. 45, p. 671-672, 1981.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 495-502, 2008.

MADEIRA, R. **Plantio direto em hortaliças folhosas é viável**. 2010. Disponível em: <www.abcsem.com.br/noticia.php?cod=446>. Acesso em 30 mar. 2011.

MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA, V. R. **Avaliação de Plantas de Cobertura na Formação de Palhada no Plantio Direto de Cebola**. Associação Brasileira de Horticultura, 2003. Disponível em http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/44_713. Acessado em 22 de agosto de 2011.

MALUF, L. E. J.; MADEIRA, N. F.; BIGUZZI, F. A.; DARIOLLI, L.; SANTOS, F. H. V.; GOMES, L. A. A. Avaliação de cultivares de alface americana em diferentes tipos de cobertura de solo. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 44. Resumos... Campo Grande: SBO (CD-ROOM), 2004.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. S.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-CNPH, 1994. 60p.

- MASLE, A.; PASSIOURA, J. B. Effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 634-656, 1987.
- MELILLO J. M.; ABER, J. D.; MUSATORE, J. F. Nitrogen and lignina control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, Madison, v.63, p. 621-629, 1982.
- MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. **Plant and Soil**, v. 95, p. 315-326, 1986.
- MOGHARBEL, A. D. I.; MASSON, M. L. Perigos associados ao consumo da alface, (*Lactuca sativa*), in natura. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 83-88, 2005.
- MULLER, A. G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface (*Lactuca sativa* L.) para diferentes tipos de cobertura do solo**. Piracicaba, 1991. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo (USP).
- MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531-538, 2001.
- MUZILLI, O. **O plantio direto no Brasil. Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 3-18.
- NADAL, R.; GUIMARÃES, D. R.; BIASI, J.; PINHEIRO, S. L. G.; CARDOSO, V. I. M.. **Olericultura em Santa Catarina: aspectos técnicos e econômicos**. Florianópolis: DID/EMPASC, 1986. 187 p.
- NETTO, D. A. M. **A cultura do milheto**. EMBRAPA – CNPMS, 1998. 6p. (Com. Técnico, 11).
- NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 943-948, 2006.
- OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.2, p.211-217, 2004.
- OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1079-1087, 2002.
- OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.
- OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, J. G.; MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de serrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, v. 1, n. 1, p. 01-12, ISSN 1808-8597, 2005.

OLIVEIRA, N. G.; DEPOLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 112-117, 2006.

OLIVEIRA, F. F.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; RICCI, M. F.; CEDDIA, M. B. Avaliação de coberturas mortas em cultura de alface sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 216-220, 2008.

OLIVEIRA, N. D. H.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, I. G. M.; CEDDIA, M. B. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 330-334, 2011.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D.L; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D.; NDIAYE, A. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1705-1710, 2002.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.

PALM, C. H.; SWIFT, M. J.; WOOMER, P. L. Soil Biological dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 58, p. 61-74, 1996.

PAVAN, M. A; BIOCHM, F; ZEMPULSKI, H. C; MIYAZAWA, M; ZOCOLER, D. C. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**. Londrina. IAPAR, 1992, 40 p.

PAULETTI, V. A. Importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta. **Anais...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 56-66.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.709-715, 2001.

PEREIRA, J. A. R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) no cerrado**. Botucatu, 1990. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Agricultura) – Universidade Estadual Paulista.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BOER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessora à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v. 55, p. 94-101, 2008.

PITOL, C. O milheto na integração agricultura-pecuária. **Informações Agronômicas**, n. 76, p. 8-9, 1996.

PIVETTA, L. A.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; CASTOLDI, G.; STEINER, F.; GOBBI, F.C. Alterações dos atributos químicos do solo em diferentes sistemas de produção.

In XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Gramado, 2007. Resumos... Gramado: SBCS, 2007. 5p.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1795-1801, 2002.

PRADO, R. M.; NATALE W. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, 2003.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p. 89 – 102, 2002.

RADFORD, B. J.; YULE, D. F.; MCGARRY, D.; PLAYFORD, C. Crop response to applied soil compaction and to compaction repair treatment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3/4, p. 155-170, 2001.

RAIJ, B. V. A. N.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 287p.

RAMOS, M. R. **Atributos físicos e perda de solo, água e nutrientes em encostas sob sistema de produção de hortaliças convencional e orgânico**. Paraná, 2009. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná.

REICHERT, J. M.; SILVEIRA, M. J.; WOHLBERG, E. V.; PELEGRINI, A.; REINERT, D. J. Perdas de solo afetadas pela intensidade de chuva, horizonte do solo e declividade do solo. In: Paiva & Paiva. (Org.). **Caracterização qualiquantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH-UFSM, p. 81- 97, 2000.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 289-298, 1992.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.

REZENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

RIBEIRO, F. S. R.; NETO, F. S.; SANTOS, J. A. B. Plantio direto na pequena propriedade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 100-108, 2001.

RIOS, M. Nabo forrageiro é opção na reforma de canaviais. **Jornal Cana**, Adamantina, p 30-31, 2008.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo, 1996. 24 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. ‘Piraroxa’: Cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 158-159, 2005.

SALDANHA, T.R.F.C; NEGREIROS, M.Z; NETO, F.B; GUIMARÃES, R.A.S. Cultivares de alface crespa em sistemas solteiro e consorciado com cenoura. **Caatinga**, v. 18, p. 176-184. 2005.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. Milheto uma alternativa para a cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, n. 45, p. 41 – 43, 1998.

SALTON, J. C.; PITOL, C.; SIEDE, P. K.; HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C. **Nabo forrageiro: sistemas de manejo**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 23p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 7).

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: Editora UFV, 2006, p. 41-65.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, E.E.; POLLI, H.; GUERRA, J. G. M; AGUIAR-MENEZES, E. L.; RESENDE, A. L. S.; OLIVEIRA, F. L.; RIBEIRO, R. L. D. Sucessão entre cultivos orgânicos de milho e couve consorciados com leguminosas em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 57-62, 2011.

SILVA, V. V. **Efeito do pré-cultivo de adubos verdes na produção orgânica de brócolos (*Brassica oleracea L. var. italica*) em sistema de plantio direto**. Seropédica, 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SILVA, L. P. E. Atributos **físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade do feijoeiro em sucessão a diferentes plantas de cobertura**. Marechal Cândido Rondon, 2009. 36f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

SOUZA, P.A.; NEGREIROS, M. Z.; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. Características químicas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005.

SOUZA J. L.; REZENDE P. L. **Manual de horticultura orgânica**. 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 843 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto de resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

STONE, L. F.; GUIMARAES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

SUZUKI, L.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, p. 121- 127, 2006.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil Tillage Research**, v. 19, p. 111-119, 1991.

TESSARIOLI NETO, J.; GROPPPO, G. A. A cultura do feijão-vagem. **Boletim técnico CATI**, Campinas, n. 212, p. 1-12, 1992

TIVELLI, S. W.; PURQUEIRO, L. F. V.; KANO, C. Adubação verde e plantio direto em hortaliças. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, p. 1-8, 2010.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 147p.

VIGGIANO, J. Produção de sementes de feijão-vagem. In: CASTELLANE, P. D.; NICOLOSI, W. R.; HASEGAWA, H. **Produção de sementes de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/ FUNEP, 1990. p. 127-140.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto**. Santa Maria, 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria.

WANDERER, M.; BARROS, I. B. I. Rendimento de biomassa de cultivares de melissa sob diferentes coberturas de solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 216-221, 2007

7 ANEXOS

Anexo 1: Resumo da análise de variância para massa fresca e massa seca das plantas de cobertura. Santa Helena - PR, 2010/2011.

FV	GL	Quadrados Médios	
		Massa fresca das Plantas de Cobertura	Massa seca das Plantas de Cobertura
Tratamento	3	0, 220*	0, 273**
Bloco	3	0, 447	0, 283
Resíduo	9	101369966, 660	4251149, 310
CV(%)		33, 084	35, 093

*, **: Significativos a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Anexo 2: Resumo da análise de variância para a resistência a penetração, em função das plantas de cobertura (tratamento) e épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Resistência a Penetração		
		Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	0,726	0,139	3,256
Tratamento	4	0,769	13,232*	4,338
Resíduo (a)	12	0,602	1,701	2,190
Profundidade	16	19,980	51,816*	23,011
Tratam x Profund	64	0,178	1,874	0,469
Resíduo (b)	240	0,300	1,293	0,397
Total	339			
CV(%)		41,359	44,474	32,371

*, **: Significativos a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Anexo 3: Resumo da análise de variância para a cultura da alface: altura de planta (AP), projeção de copa (PC), diâmetro de caule (DCA), número de folhas (NF), massa fresca e seca da parte aérea (MFA), massa fresca e seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC) e área foliar (AF), em função dos tratamento (plantas de cobertura), ciclos de cultivo (épocas) e das cultivares de alface. Santa Helena - PR, 2010/2011.

FV	GL	Quadrados Médios				
		AP	PC	DCA	NF	MFA
Tratamento	4	6,202	92382,940	42,860	60,817	404649,300
Bloco	3	1,037	53290,950	7,321	4,259	69043,010
Resíduo (a)	12	2,044	29821,620	21,804	25,803	217846,400
Cultivar	1	95,429*	37022,690**	5,882	2,222	180517,100**
Tratam * Cultivar	4	0,222	6582,321	1,543	2,450	27158,820
Resíduo (b)	15	0,722	6026,469	2,751	7,055	38696,620
Época	1	0,722*	493509,000*	658,220*	769,833*	0,138*
Tratamento x Época	4	0,538	3921,686	1,245	1,311	115030,500**
Cultivar x Época	1	29,554*	2789,470	17,708*	10,755	41955,550
Tratam x Cult x Época	4	0,748	5530,873	5,140	2,497	54643,040
Resíduo (c)	30	0,855	6175,825	2,085	3,362	36871,220
Total	79					
CV(%)		4,927	11,033	7,599	8,198	18,646

FV	GL	Quadrados Médios				
		MFF	MSF	MSA	MSC	AF
Tratamento	4	284666,200	532,536	709,031	12,685*	0,114
Bloco	3	82162,320	337,768	362,882	1,929	0,348
Resíduo (a)	12	147782,700	336,927	382,936	1,671	0,635
Cultivar	1	46498,550	247,077	329,504	5,922*	0,898
Tratamento x Cultivar	4	19526,990	46,662	49,439	0,739	0,295
Resíduo (b)	15	26800,72	101,310	111,736	0,408	0,237
Época	1	8601066,000*	22148,060*	30103,840*	609,218*	0,394*
Tratamento x Época	4	72790,830**	67,072	103,790	4,210*	0,271
Cultivar x Época	1	8522,669	116,552	183,180	7,499*	0,915
Tratam x Cult x Época	4	35474,990	66,583	71,043	0,701	0,515
Resíduo (c)	30	25792,190	69,545	72,614	0,364	0,231
Total	79					
CV(%)		18,327	18,463	16,810	10,931	25,390

*, **: Significativos a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Anexo 4: Resumo da análise de variância para umidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total do solo, em função da profundidade e das épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

FV	GL	Quadrados Médios				
		Umidade	Macro	Micro	Porosidade Total	Densidade
Tratamento	4	34,308*	32,163*	2,729	28,111	0,729
Bloco	3	2,062	37,061*	3,579	29,971	0,152
Resíduo (a)	12	3,070	5,959	12,411	18,085	0,121
Profundidade	1	227,761*	1822,305*	363,645*	557,855*	0,559*
Tratam x Profund	4	6,313	21,080	14,560	34,294	0,159
Resíduo (b)	15	6,269*	22,833	10,004	24,688	0,128
Época	2	80,686*	13,424	85,352*	86,391**	0,301
Época x Tratam	8	2,371	24,642	2,598	23,505	0,110
Época x Profund	2	40,831*	241,270*	26,868	111,394*	0,485*
Época x Trat x Prof	8	3,010	16,446	7,129	15,758	0,650
Resíduo (c)	60	4,566	16,170	11,731	13,874	0,732
Total	119					
CV(%)		10,452	24,337	8,478	6,544	6,045

*, **: Significativos a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Anexo 5: Resumo da análise de variância matéria orgânica, fósforo, pH, acidez potencial (H + Al), potássio, cálcio, magnésio, SB, V(%) do solo, em função da profundidade e das épocas de avaliação. Santa Helena - PR, 2010/2011.

FV	GL	Quadrados Médios				
		Mat. Orgânica	Fósforo	pH	H + Al	Potássio
Tratamento	4	62,624	1161,025**	0,539*	1,255	0,119
Bloco	3	15,268	1196,633	0,146	4,277	0,576
Resíduo (a)	12	36,514	437,500	0,759	0,863	0,966
Profundidade	1	142,964*	36519,710*	3,300*	42,900*	2,059*
Tratam x Profundidade	4	17,048	841,721**	0,424	2,279*	0,632*
Resíduo (b)	15	19,072	329,188	0,425	0,646	0,124
Época	2	18,741	9674,856*	0,331 *	24,819*	0,770*
Época x Tratamento	8	7,061	512,299	0,311 *	1,462	0,302
Época x Profundidade	2	8,777	3789,895*	0,674 *	6,388*	0,136
Época x Tratam x Profund	8	9,665	271,381	0,547	1,512	0,121
Resíduo (c)	60	11,524	374,270	0,547	0,727	0,191
Total	119					
CV(%)		19,526	62,551	4,871	16,539	29,342

FV	GL	Quadrados Médios			
		Cálcio	Magnésio	SB	V%
Tratamento	4	2,760	0,619	2,667	54,758
Bloco	3	0,608	1,051	1,432	162,460
Resíduo (a)	12	3,456	0,104	4,749	82,043
Profundidade	1	3,640	1,897 *	3,423	1078,201*
Tratam x Profundidade	4	1,016	0,212	1,536	55,920
Resíduo (b)	15	0,949	0,114	1,617	27,762
Época	2	15,164*	1,106*	32,765*	1367,684*
Época x Tratamento	8	0,502	0,456	0,705	21,069
Época x Profundidade	2	0,266	1,207*	0,851	146,072*
Época x Tratam x Profund	8	0,472	0,340	0,702	34,267
Resíduo (c)	60	0,682	0,891	0,938	22,107
Total	119				
CV(%)		12,249	19,760	11,100	7,4715

*, **: Significativos a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.