



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/ FITOTECNIA

JÚNIOR RÉGIS BATISTA CYSNE

**COMPORTAMENTO DO MILHO E FEIJÃO-CAUPI EM ROTAÇÃO E
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

FORTALEZA

2011

JÚNIOR RÉGIS BATISTA CYSNE

**COMPORTAMENTO DO MILHO E FEIJÃO-CAUPI EM ROTAÇÃO E
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

Orientador: Prof. Ph.D. João Bosco Pitombeira

FORTALEZA

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

C99c

Cysne, Júnior Régis Batista.

Comportamento do milho e feijão-caupi em rotação e diferentes coberturas vegetais no semiárido nordestino / Júnior Régis Batista Cysne – 2011.

109 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2011.

Área de Concentração: Fitotecnia.

Orientação: Prof. PhD. João Bosco Pitombeira.

1. Milho – cultivo.. 2. Feijão-de-corda - cultivo. 3. Rotação de cultura. 4. Semiárido. I. Título.

CDD 581.2

JÚNIOR RÉGIS BATISTA CYSNE

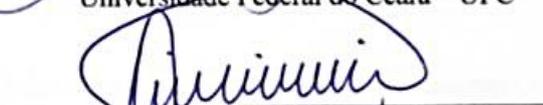
**COMPORTAMENTO DO MILHO E FEIJÃO-CAUPI EM ROTAÇÃO E
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

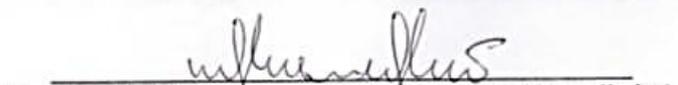
Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

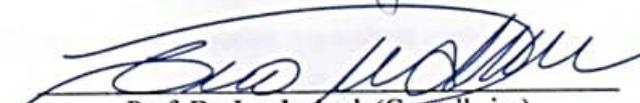
Aprovada: 19/05/2011

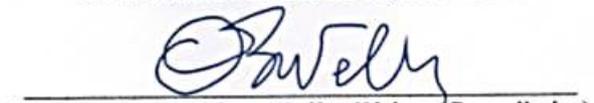
BANCA EXAMINADORA


Prof. Ph.D. João Bosco Pitombeira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC


Prof. Dr. Renildo Luiz Mion (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará – UFC


Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará – UFC


Prof. Dr. Ivo Jucksch (Conselheiro)
Universidade Federal de Viçosa – UFV


Pesquisador Dr. Olmar Baller Weber (Conselheiro)
Embrapa Agroindústria Tropical

FORTALEZA

2011

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ajudar muito nos momentos difíceis, me dando força para superar as dificuldades do curso, e por iluminar meus caminhos;

A Universidade Federal do Ceará, em especial aos Departamentos de Fitotecnia e pela oportunidade de realização do curso de Doutorado;

A minha esposa Valdilene e minha filha Lucy por estarem sempre do meu lado me dando forças e paciência para continuar em frente;

A minha mãe Maria Luzinete Batista Nogueira e minha avó Rita Batista Costa por todo apoio, carinho e compreensão;

Ao amigo e companheiro Ciro de Miranda Pinto pela amizade e ajuda durante a realização deste trabalho;

Ao amigo Jefte Ferreira da Silva pela amizade e ajuda;

Ao CNPq pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio;

Ao professor João Bosco Pitombeira pela orientação e ensinamentos;

Aos meus familiares, amigos e aqueles que tenham contribuído para o meu sucesso nesta especialização.

Comportamento do milho e feijão-caupi em rotação e diferentes coberturas vegetais no semiárido nordestino

RESUMO

Restos de culturas e outros materiais vegetais têm sido usados como cobertura morta no sistema de plantio direto em várias regiões do Brasil. No Nordeste essa prática é pouco comum e existe desconhecimento sobre o comportamento dessas coberturas nas condições do semiárido quanto à degradação e seus efeitos sobre a produtividade das culturas e características físico-químicas do solo. Uma pesquisa foi conduzida na Fazenda Lavoura Seca, Quixadá, Ceará, com o objetivo de avaliar a produtividade de grãos de milho (*Zea mays* L) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L Walp.) e algumas características de um Argissolo Vermelho Amarelo quando submetido a um sistema de plantio direto em cinco tipos de cobertura morta provenientes de: vegetação natural; milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench); e do plantio convencional, em dois sistemas de rotação de culturas SPD1 (feijão-caupi em sucessão ao milho) e SPD2 (milho em sucessão ao feijão-caupi). As coberturas mortas foram avaliadas quanto à duração, taxa de decomposição e seus efeitos sobre as características do solo densidade, densidade de partículas, porosidade total, micro porosidade, macro porosidade e teor de umidade, na profundidade de zero a 20 cm, nos anos agrícolas 2008 e 2009. Não foram constatadas diferenças significativas entre a biomassa produzida pela vegetação natural e a proporcionada pela braquiária, milheto e sorgo forrageiro no SPD1 e SPD2. A degradação dos resíduos no período de avaliação foi maior onde o feijão-caupi foi sucedido pelo milho. A produtividade do milho não diferiu entre as coberturas e plantio convencional em 2008 e 2009. A produtividade de grãos do feijão-caupi foi maior no plantio convencional do que nos tratamentos com cobertura morta podendo ser atribuído ao melhor controle das plantas daninhas no sistema convencional. As diferentes coberturas mortas proporcionaram aumento na densidade do solo e diminuição na porosidade total e macro porosidade.

Palavras chaves: Cultivo mínimo. Características do solo. *Zea mays* L.. *Vigna unguiculata* L (Walp).

Behavior of maize and cowpea in rotation and different vegetation cover in semiarid northeastern

ABSTRACT

Crops and others vegetal residues are used as death cover in minimum tillage in several regions of Brazil. In the Northeast this practice is not yet generalized and there is a poor knowledge about the plant residues degradation under semi-arid conditions and its effects on crop productivity and the physical and chemical soil characteristics. This work was carried out at Dry Farm Experimental Station, Quixada, Ceara, in order to evaluate the corn and cowpea yield growing under minimum tillage with two crop rotation systems, SPD1 (cowpea following corn) and SPD2 (corn following cowpea) and five types of death cover originated from natural vegetation, millet (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); brachiaria grass (*Brachiaria brizantha*); forage sorghum, (*Sorghum bicolor* L. Moench) and conventional tillage. It was also evaluated the effects of these rotation systems and deaths covers over soil density, particle density, micro and macro porosity, percentage of soil humidity at 20cm depth of a Red Yellow Argissol during 2008 and 2009. It was not found significant differences between the biomass yields of brachiaria grass, millet and sorghum in SPD1 and SPD2. The deaths cover degradation during the two years of evaluation was higher where the cowpea was followed by corn. The corn yield was not significantly different between the death covers and conventional tillage. The better cowpea yield under conventional tillage could be caused by a better weed control. The death cover tested increased the soil density and decreases the macro and total soil porosity.

Key words: Minimum tillage. soil characteristics. *Zea mays* L.. *Vigna unguiculata* L (Walp).

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
CAPITULO 1	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 As culturas de feijão-caupi e milho no Nordeste do Brasil	17
2.2 Considerações sobre o plantio direto	18
2.3 Sistemas de preparo do solo	20
2.4 Plantas de cobertura e produção de fitomassa	21
2.5 Decomposições das palhadas e ciclagem dos nutrientes	24
2.6 Porosidade do solo	27
2.7 Densidade do solo e resistência à penetração	30
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPÍTULO 2	43
Influência da cobertura morta na produtividade de milho e feijão-caupi em rotação no sistema plantio direto, na região semiárida do Nordeste brasileiro	43
RESUMO	43
ABSTRACT	44
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1 Localização e caracterização da área experimental	47
2.1.1 Histórico da área.....	47
2.1.2 Clima	48
2.1.3 Solo.....	52
2.2 Experimento de campo	49

2.3	Condução do experimento	50
2.3.1	Formação da cobertura morta	50
2.3.2	Avaliação da cobertura morta	51
2.3.3	Descrição de cultivares de milho e feijão-caupi	51
2.3.4	Adubação e preparo da área	52
2.3.5	Colheita e beneficiamento	53
2.3.6	Taxa de decomposição da matéria-seca do milho e do feijão-caupi	53
2.4	Características avaliadas	54
2.4.1	Produção de matéria-seca da cobertura morta	54
2.4.2	Decomposição da biomassa do milho e feijão-caupi em bolsas de nylon	55
2.5.	Análises estatísticas	55
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1	Produção de biomassa da vegetação natural e cultura de cobertura nos sistemas SPD1 e SPD 2	57
3.1.1	SPD 1	58
3.1.2	SPD 2	61
3.2	Dinâmica da taxa de decomposição dos resíduos vegetais das culturas de milho e feijão-caupi usando “litter bag”	63
3.2.1	Dinâmica de degradação dos resíduos vegetais do milho	64
3.2.2	Dinâmica dos resíduos vegetais do feijão-caupi	66
3.3	Taxa de decomposição (K), meia vida (T_{1/2}) e relação C/N da matéria-seca do milho e feijão-caupi	68
3.3.1	Matéria-seca do milho, taxa de decomposição, tempo de meia vida e relação C/N	68
3.3.2	Matéria-seca do feijão-caupi, taxa de decomposição, tempo de meia vida e relação C/N	71
3.4	Produtividade de milho e feijão-caupi no sistema de plantio direto após as plantas de cobertura	72
3.4.1	Cultura do Milho	72
3.4.2	Cultura do Feijão	74
4	CONCLUSÕES	78
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

CAPÍTULO 3	85
Atributos físicos do solo de área cultivada por dois anos no sistema plantio direto	85
RESUMO	85
ABSTRACT	86
1. INTRODUÇÃO	87
2. MATERIAL E MÉTODOS	89
2.1. Localização e descrição do experimento	89
2.2. Tratamentos e delineamento experimental	89
2.3. Amostragens e determinações analíticas das características físicas do solo	90
2.3.1. Densidade do solo e densidade de partículas	90
2.3.2. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade	91
2.3.3. Resistência à penetração	91
2.4. Análises estatísticas	92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
3.1 Densidade do solo e densidade de partículas	94
3.1.1 Para o SPD 1	94
3.1.2 Para o SPD 2	96
3.2 Distribuição do tamanho de poros do solo	97
3.2.1 Para o SPD 1	97
3.2.2 Para o SPD 2	99
3.3 Resistência à penetração	101
4. CONCLUSÕES	104
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1** Temperatura e precipitação pluviométrica média obtida junto a Estação Meteorológica da Fazenda Lavoura Seca em Quixadá – CE..... **48**
- Figura 2.2** Distribuição dos tratamentos (tipos de cobertura morta) e detalhe da parcela no campo experimental. Quixadá,CE, 2008 e 2009.. **50**
- Figura 3.3** Teores médios de Umidade (%) em cada faixa de profundidade no SPD 1 e SPD 2, Quixadá-CE, 2008 e 2009..... **92**
- Figura 3.4** Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 1, Quixadá-CE, 2008 a 2009..... **102**
- Figura 3.5** Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 2, Quixadá-CE, 2008 a 2009..... **103**

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Granulometria e características químicas do solo das áreas experimentais em 2008 e 2009. Quixadá, CE.....	48
Tabela 2.2 Atividades desenvolvidas durante o período experimental em 2008 e 2009. Quixadá, CE.....	53
Tabela 2.3 Resumo da análise de variância para a biomassa das plantas nos sistemas de plantio direto avaliados em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	57
Tabela 2.4 Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos no SPD1 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	58
Tabela 2.5 Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos em diferentes épocas de coleta no SPD1 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	59
Tabela 2.6 Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos no SPD2 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	61
Tabela 2.7 Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos em diferentes épocas de coleta no SPD2 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	62
Tabela 2.8 Resumo da análise de variância da degradação da biomassa do milho e feijão-caupi proveniente de diferentes coberturas mortas em 3 épocas em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	64
Tabela 2.9 Percentagem da biomassa de resíduos remanescentes no solo após a colheita do milho aos 30, 90 e 150 dias nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.	65

Tabela 2.10 Percentagem da biomassa de resíduos remanescentes no solo após a colheita do feijão-caupi aos 30, 90 e 150 dias nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.....	67
Tabela 2.11 Resumo da análise de variância com quadrados médios para a taxa de decomposição K e tempo de meia vida $T_{1/2}$ da matéria-seca dos resíduos da cultura do milho e do feijão em Quixadá-CE, 2008 e 2009.....	69
Tabela 2.12 Concentração de Carbono ($g\ kg^{-1}$) e Nitrogênio ($g\ kg^{-1}$) na fitomassa remanescente, relação C/N, constante de decomposição K e meia vida $T_{1/2}$ (dias) de resíduos do milho, nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.....	70
Tabela 2.13 Concentração de Carbono ($g\ kg^{-1}$) e Nitrogênio ($g\ kg^{-1}$) na fitomassa remanescente, relação C/N, constante de decomposição K e meia vida $T_{1/2}$ (dias) de resíduos do feijão-caupi, nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.	71
Tabela 2.14 Análise de variância com quadrados médios para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade ($kg\ ha^{-1}$) na cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.	72
Tabela 2.15 Médias e variâncias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade ($kg\ ha^{-1}$) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.	73
Tabela 2.16 Médias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade ($kg\ ha^{-1}$) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.	74
Tabela 2.17 Análise de variância com quadrados médios para o número de vagens por planta, peso de mil sementes (g) e produtividade ($kg\ ha^{-1}$) na cultura do feijão-caupi em Quixadá-CE, 2008 e 2009	75
Tabela 2.18 Médias e variâncias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade ($kg\ ha^{-1}$) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009..	75

Tabela 2.19 Médias de produtividade (kg ha^{-1}), peso de mil sementes (g) e vagens por planta para a cultura do feijão-caupi em Quixadá-CE, 2008 e 2009..	76
Tabela 3.20 Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 1 em Quixadá-CE.	93
Tabela 3.21 Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 2 em Quixadá-CE... ..	94
Tabela 3.22 Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm^{-3}), no SPD 1 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.	95
Tabela 3.23 Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm^{-3}), no SPD 2 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.	96
Tabela 3.24 Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 1, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em 2008 e 2009 de Quixadá-CE.. ..	98
Tabela 3.25 Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 2, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em 2008 e 2009 de Quixadá-CE.	99

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura sustentável é um progressivo gerenciamento dos recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas e ao mesmo tempo uma manutenção ou melhoria da qualidade dos recursos ambientais (FREITAS, 2002).

O Nordeste do Brasil compreende uma área de 1,5 milhão de km² sendo a região mais pobre do país. Os problemas socioeconômicos são mais acentuados na área semi-árida, que se estende por mais de um milhão de km² (SUDENE, 1997). A agricultura de subsistência é a atividade econômica mais importante nesta região e a baixa disponibilidade de água é o principal obstáculo para a produção agrícola.

A grande perda de água que ocorre nos solos da região do semi-árido é por evaporação. Desta forma a agricultura de sequeiro (dependente das chuvas) constitui a principal atividade do setor primário do estado do Ceará. A área inclui uma grande variedade de sistemas agrícolas, resultantes de diferentes solos, topografias e precipitação.

Diversas técnicas estão disponíveis para se realizar uma agricultura de sequeiro mais eficiente, como tipo de cultura, cultivar a ser plantada, época de semeadura, densidade utilizada e adubação nitrogenada (DEBAEKE; ABOUDRARE, 2004).

O sistema tradicional de manejo de solo utilizado na produção de alimentos é caracterizado pelo uso intensivo de arado, grade e enxada rotativa, o que trazem sérias consequências como a degradação do potencial produtivo das terras, o uso pouco eficiente da água e elevado custo de produção e redução de ganhos dos agricultores familiares com a atividade agrícola.

Um sistema de cultivo interessante é o plantio direto, pois se constitui numa eficiente prática para o controle da erosão, compactação do solo, maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, melhora as condições físicas do solo com o aumento da matéria orgânica, bem como as condições químicas do solo (BALBINO *et al.*, 1994).

O plantio direto é uma prática agrícola que vem sendo usado com constante sucesso nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No Nordeste o seu uso é restrito e falta informação para sua prática.

Por apresentar benefício ambiental amplo, é possível que o sistema de plantio direto seja a contribuição mais importante da agricultura moderna, pois havendo pouca remoção de partículas do solo, há menor perda de fertilizantes, que se traduz em menor poluição das águas superficiais (WIETHOLTER *et al.*, 1998).

Com crescimento inicial pouco expressivo, em termos de área, foi a partir da década de 90 que ocorreu grande expansão da área agrícola em sistema de plantio direto, tanto na região Sul como no Cerrado, onde o plantio direto começou apenas a ser utilizado nos anos 80. Atualmente são cultivados no Brasil cerca de mais de 25 milhões de hectares em plantio direto (FEBRAPDP, 2011).

Entre os requerimentos para o plantio direto consta a formação da palhada, um dos mais importantes, e as espécies vegetais formadoras da palhada devem se destacar tanto na produção de fitomassa como na quantidade de nitrogênio acumulado pelas mesmas. As principais fontes de palha usadas atualmente no plantio direto são os restos de cultura, como o milho, sorgo, milheto, aveia-preta, centeio arroz e triticale, sendo que outras espécies podem também ser utilizadas tais como: nabo forrageiro, crotalárias, mucunas, guandu, ervilhaca e vegetação natural (HECKLER *et al.*, 1998).

O conceito de sistema plantio direto ainda não é muito difundido na região Nordeste, inclusive, não há pesquisas que demonstrem a viabilidade agrônômica e econômica deste sistema no manejo de culturas com condição de sequeiro. Indubitavelmente o plantio direto de espécies como milho e feijão-caupi sobre a palhada de pré-cultivos requer adaptações próprias distintas dos sistemas desenvolvidos para as demais regiões do país. Contudo a ideia de reduzir a movimentação do solo de regiões onde aplicação de adubos minerais é deficiente e a distribuição de chuvas é irregular, torna-se merecedora de esforços e alguma iniciativa, pois diversos estudos têm mostrado que para algumas regiões o sistema plantio direto pode se tornar uma realidade.

O milho (*Zea mays* L.) um dos mais importantes cereais cultivados no mundo constituiu-se num produto agrícola de largo consumo, que por suas características de fácil manipulação e conservação, é matéria prima imprescindível no complexo industrial voltado para a alimentação humana e animal. Segundo Diniz (1999), o sistema de preparo do solo predominante para a cultura do milho no Brasil é o convencional, só que ao longo do tempo tem provocado danos ao ambiente, contribuindo para o aumento do processo de degradação do solo.

Embora semeado do norte ao sul do Brasil por mais de 60% dos produtores rurais, esta cultura concentra-se basicamente nos estados do Centro-Sul, responsáveis por cerca de 93% do cereal produzido e por 79% da área total, sendo o Paraná o principal produtor. A produtividade média brasileira é baixa provavelmente sendo consequência da produção encontra-se concentrada em pequenas propriedades, sendo que no Norte-Nordeste, mais de 80% da produção é obtida em propriedades com menos de 10 ha; no Sul-Sudeste, acima de 75% da produção vem de propriedades menores que 50 ha (IBGE, 2007).

O feijão-caupi desempenha um importante papel na vida social e econômica do povo brasileiro, pois além de ser o responsável por suprir grande parte das necessidades alimentares da população de baixo poder aquisitivo, ainda tem apresentado taxas de crescimento da área cultivada relativamente altas (YOKOYAMA *et al.*, 1996).

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares). No entanto, a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. O feijão-caupi contribui com 35,6% da área plantada e 15% da produção de feijão total (feijão-caupi + feijão-comum) no país. (FAO, 2009).

Em média nos últimos 10 anos foram produzidas 482 mil toneladas em 1,3 milhão de hectares. A produtividade média do feijão-caupi, no Brasil, é baixa (366 kg ha^{-1}), em função do baixo nível tecnológico empregado no cultivo. No entanto, estados como Amazonas, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentam produtividades superiores a 1.000 kg ha^{-1} (FAO, 2009).

A hipótese geral deste trabalho é de que os sistemas plantio convencional e plantio direto têm efeitos distintos nas propriedades físicas dos solos e na produtividade das culturas. Por sua vez, esses efeitos dependem da forma como as práticas de cada sistema interferem nos fatores controladores da produção vegetal e dos atributos do solo.

O objetivo geral desta pesquisa foi adaptar metodologias para o sistema plantio direto com as culturas do feijão-caupi e milho em rotação nas condições de sequeiro para o semi-árido Nordeste.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 As culturas de feijão-caupi e milho no Nordeste do Brasil

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), conhecido por feijão-macassar ou feijão-de-corda tem sua origem duvidosa, ainda que se acredite que seja originária da África Tropical, de onde teria se dispersado para outras regiões com clima semelhante, como a Índia. Possui várias subespécies, como o feijão-chicote, que têm, por sua vez, inúmeras variedades, cultivadas pelas sementes comestíveis, de formas e cores diversas, utilizadas também como forragem especialmente nutritiva e como adubo verde (FERY *et al.* 1993). É uma das alternativas de fonte de renda e alimento básico para população da região Nordeste do Brasil, que o consome sob a forma de grãos maduros e de grãos verdes.

É uma leguminosa amplamente adaptada a ambientes de regiões quentes. O feijão-caupi pertence à família *Fabaceae*. Summerfield *et al.* (1974) descreveram o feijão-caupi como uma erva anual que chega a uma altura de 80 cm, com uma forte raiz principal e muitas raízes laterais espalhadas na superfície do solo. Suas formas de crescimento podem variar de ereto ou ramador e seu crescimento é indeterminado sob condições favoráveis.

Plantas de feijão-caupi são tolerantes a seca e solos ácidos, e sua habilidade de fixar nitrogênio atmosférico contribui para seu rápido crescimento em climas tropicais caracterizados por baixa precipitação, altas temperaturas e solos com baixa fertilidade (EHLERS; HALL, 1997). Segundo Andrade *et al.* (1993) o feijão-caupi é uma cultura tolerante a seca e possui uma adaptabilidade em áreas nas quais outros legumes alimentícios não produzem adequadamente, e seu crescimento e desenvolvimento é satisfatório em solos pobres com mais de 85% de areia, e menos de 0,2% de matéria orgânica e baixos níveis de fósforo.

Culturas produtoras de grãos são cultivadas em muitas propriedades de pequenos agricultores, e apesar das taxas de fixação de nitrogênio serem altas, quase todo o nitrogênio que entra no sistema vem da fixação biológica (GILLER, 2001). Em países como a Brasil, África e Índia o feijão-caupi é cultivado em diversos tipos de solos e condições climáticas e mais comumente é consorciado ou rotacionado com outros cereais como milheto, sorgo e milho.

O milho pertence à família *Poaceae* e tem sua origem nos trópicos da América Latina. É o cereal de maior produção no mundo, depois do arroz e do trigo.

O milho, assim como outras gramíneas possui uma haste cilíndrica com nós compostos. Cada nó abaixo do solo produz raízes e os nós ao nível do solo ou imediatamente acima, podem produzir perfilhos e raízes adventícias (esporões). As folhas e ramificações que podem permanecer no estado rudimentar ou se desenvolver para formar a inflorescência feminina são produzidas a partir das gemas acima do solo. Os colmos não são ocos, mas compactos, e terminam com o pendão (inflorescência masculina). O sistema radicular é constituído de raízes primárias e laterais (seminais) e raízes adventícias (GOODMAN; SMITH, 1978).

A cultura está entre as graníferas de alta importância na produção agrícola do Brasil, haja vista que na safra 2009/10 foram colhidas 55,9 milhões de toneladas de milho, produção superada apenas pela soja (CONAB, 2011). Está entre os cereais mais amplamente utilizados na indústria para alimentação humana e animal (ASSIS, 2004).

2.2 Considerações sobre o plantio direto

O aumento da população mundial, principalmente nos países subdesenvolvidos, aliado à crescente demanda por alimentos, promoveu profundas mudanças na agricultura. Estas mudanças podem ser constatadas pelo uso de novas tecnologias na busca de maior produtividade e na expansão das fronteiras agrícolas, com a incorporação de novas áreas de plantio.

Paralelamente a estas mudanças tem ocorrido, em várias áreas do globo, uma elevada degradação ambiental. Contrapondo a esta situação também vivenciada na agricultura do Brasil, introduziu-se o sistema de plantio direto em áreas agrícolas, o qual vem se consolidando entre agricultores, técnicos e pesquisadores como uma tecnologia conservacionista, podendo ser adaptado às condições de níveis tecnológicos de diferentes regiões.

Conforme Muzzili (1991), plantio direto é o processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas por equipamentos apropriados, com largura e profundidades suficientes para sua adequada cobertura e contato das sementes

com o solo. Com isso eliminam-se as operações de aração, gradagem, escarificação e outros métodos convencionais de preparo de solo.

O plantio direto foi introduzido inicialmente como uma prática de controle de erosão (MACHADO, 1993). Porém, após a adoção desta prática agrícola, com o decorrer do tempo observou-se aumento de produtividade das culturas, pois a manutenção da palhada na superfície do solo causou a redução de temperatura e da evaporação da água do solo, aumento da capacidade de armazenamento, infiltração da água, aumento da porosidade e tamanho de agregados.

A mobilização em favor da introdução do plantio direto no Brasil teve início ao final da década de 60. Trabalhos foram iniciados em 1966 sendo o plantio de leguminosas em pastagens (FBRAPDP, 2011). Porém, o estado do Rio Grande do Sul em (1969), foi o primeiro a implementar o plantio de sorgo no Posto Agropecuário do Ministério da Agricultura utilizando o plantio direto.

Saturnino e Landers (1997) acrescentaram ainda que esta cobertura vegetal também trazia benefícios importantes ao meio ambiente, reduzindo perdas de solo por erosão (objetivo original com o sistema de plantio direto); diminuindo o impacto das gotas de chuva no solo e desagregação; promovendo a estabilização da temperatura e da umidade do solo e favorecendo a atividade biológica; aumentando do conteúdo de matéria orgânica do solo e melhorando a sua capacidade de troca catiônica (CTC) e sua estrutura, e agindo como um reciclador de nutrientes.

A implantação do sistema plantio direto implicava numa sequência de rotações de culturas ou culturas intercalares em áreas de cultivo perene para reciclagem de nutrientes e formação da palha, abandonando-se as operações tradicionais de preparo de solo, interferindo o mínimo possível na desagregação do solo. Saturnino (2001).

De acordo com Gassen e Gassen (1996), podem-se citar as seguintes desvantagens no uso da palhada: dificultar a semeadura, sobrevivência de patógenos de plantas cultivadas, imobilização de nitrogênio no início do plantio direto, a possibilidade de causar alelopatia negativa sobre as culturas seguintes e risco de fogo.

Outros autores complementam que as desvantagens podem ser superadas com uso adequado de semeadoras, rotação de culturas para evitar as doenças, a suplementação de nitrogênio e o manejo adequado para cada sistema de sucessão de culturas.

2.3 Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo tem como objetivo favorecer o desenvolvimento da cultura melhorando a capacidade de absorção e retenção de água, controlar plantas invasoras, melhorar a atividade biológica e aerar o solo. Seu preparo incorreto dificulta o desenvolvimento do sistema radicular da planta, causando encharcamento e ocorre a formação de uma camada compactada de solo chamada de pé-de-arado ou pé-de-grade.

Desse modo Hernani *et al.* (1997) adverte que para muitas regiões é necessário substituir os sistemas convencionais de preparo do solo que utilizam excessivamente de máquinas e implementos agrícolas na movimentação do solo, por outros sistemas que promovam um mínimo de mobilização e que deixem o máximo de resíduos da cultura antecessora sobre o solo, garantindo maior aporte de matéria orgânica ao sistema.

Segundo Costa *et al.* (2003) os sistemas de preparos utilizados são: Preparo convencional, preparo reduzido e Semeadura direto, chamado também de plantio direto. O Primeiro se caracteriza por promover um alto grau de degradação do solo, ao qual neste preparo são utilizados arados, escarificadores, grades pesadas, rolos destorroadores e discos rotativos.

Já no preparo reduzido há uma menor mobilização do solo, com uso de escarificadores, que não provocam a inversão da leiva do solo com o objetivo de minimizar problemas relacionados com erosão, compactação e desagregação do solo. Já o preparo utilizando o sistema de plantio direto não se faz o uso dos implementos anteriores. Existem implementos próprios a este tipo de sistema que trabalham em solos não preparados (NOVAIS *et al.*, 2007).

Os diferentes implementos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Cada implemento trabalha o solo de maneira própria, alterando, de maneira diferenciada, estas propriedades (SÁ, 1998).

SOUZA *et al.* (2004), destacaram que o uso inadequado dos implementos pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos.

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades

físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas (ARGENTON *et al.*, 2005).

Para Guérif (1982) as técnicas comumente empregadas no preparo do solo podem conduzir à excessiva e involuntária compactação do solo com consequências desfavoráveis no comportamento da vegetação e na produtividade da cultura, devido à limitação ao desenvolvimento do sistema radicular e à baixa condutividade da água. O autor relatou ainda que as condições de compactação dos solos agrícolas diferem daquelas trabalhadas em engenharia civil, pela menor intensidade das pressões exercidas e pelo curto tempo de aplicação.

A escarificação do solo muitas vezes é utilizada isoladamente, sendo por isso considerada um sistema de preparo mínimo. Esta operação objetiva reduzir a densidade do solo e a sua resistência mecânica à penetração das raízes e aumentar a permeabilidade do solo, através do rompimento de camadas compactadas do solo. De acordo com RIPOLI *et al.* (2007), tais camadas podem estar localizadas mais superficialmente ou em maiores profundidades, que podem variar entre 20 e 50 cm, dependendo do histórico de uso e de operações agrícolas na área, e da classe do solo, pois alguns são mais suscetíveis a compactação que outros.

2.4 Plantas de cobertura e produção de fitomassa

Cobertura do solo com massa vegetal é uma prática que consiste na manutenção na superfície do solo de uma mistura de restos de plantas herbáceas anuais ou perenes nas terras agricultáveis por uma parte do ano. O material vegetal seco pode ser deixado na superfície do solo ou incorporado através de técnicas agrícolas. Na história da agricultura, leguminosas e esterco animal têm sido as principais fontes de nitrogênio do solo. Embora a fixação não simbiótica, e a fixação atmosférica possam ser significantes fontes de nitrogênio, uma fração pode ser atribuída às leguminosas através da fixação biológica de nitrogênio do ar.

Em uma revisão histórica sobre práticas agrícolas, Tisdale *et al.* (1990) citaram que vários trabalhos discutindo o uso de leguminosas para melhoria do solo.

Comparações entre diferentes leguminosas têm sido usadas no melhoramento das características de diversos tipos de solos. O uso de leguminosas na rotação de culturas está

entre as práticas de manejo mais antigas usadas para aumentar a fertilidade do solo para produção de culturas. Escritos da Roma antiga e Grécia constam o uso da fava e outras leguminosas como espécies de cobertura e de rotação com culturas graníferas (SMITH *et al.*, 1987).

Vários trabalhos associam a rotação de culturas com a maior produção de biomassa, devido à decomposição do material depositado na superfície do solo (SÁ, 1993).

A partir da discussão acima, observa-se que a prática utilizada na agricultura moderna, como adubação verde é antiga. O retorno de material orgânico ao solo é essencial para garantir a sustentabilidade de qualquer atividade agrícola produtiva na região tropical, em especial em agroecossistemas de uso intensivo (PRIMAVESI *et al.*, 2002). No início dos estudos da agricultura moderna, Lawes e Gilbert conduziram experimentos em Rothamsted para medir e compreender a significância da contribuição das leguminosas na fertilidade do solo (TISDALE *et al.*, 1990). Por volta de 1930 os mecanismos pelos quais as leguminosas aumentavam a disponibilidade de nitrogênio do solo através da fixação de nitrogênio e mineralização, passaram a ser compreendidos pela comunidade científica (TAIZ; ZEIGER, 2004).

No início do uso da adubação verde era difícil determinar o seu manejo, pois a fertilidade do solo também decrescia com o uso contínuo da rotação de culturas. As espécies de plantas de cobertura do solo proporcionavam efeito residual variável. Desse modo, Monegat *et al.* (1991) sugerem o uso de plantas com maior capacidade produtiva de fitomassa.

Alvarenga *et al.* (2001) relataram que, na escolha das plantas de cobertura, o conhecimento sobre a adaptação das plantas à região e da habilidade em se desenvolver em ambientes menos favoráveis são decisivos. Ainda precisam ser considerados a produção de fitomassa, as condições do solo, a tolerância ao déficit hídrico, a possibilidade de utilização em cultivo comercial e o potencial dessas plantas em serem hospedeiras de pragas e doenças.

Em regiões tropicais onde há uma rápida decomposição dos restos culturais (PRIMAVESI *et al.*, 2002). Tem-se pouca informação sobre o uso de leguminosas como adubos verdes (PEREIRA, 1990). Neste sentido, um fator determinante do sucesso do sistema plantio direto é a escolha da espécie de cobertura morta do solo (ARGENTA *et al.*, 2001).

A implantação do sistema plantio direto nas áreas agrícolas requer alguns pré-requisitos, porém a rotação e/ ou sucessão de culturas é o mais importante. Por isso ela deve ser previamente planejada, pois nas condições semi-áridas, temperaturas elevadas associadas

à adequada umidade promovem a rápida decomposição dos resíduos vegetais, tanto os que são incorporados quanto os que ficam na superfície do solo (GUIMARÃES, 2000).

Algumas plantas de cobertura têm um alto potencial de produção de matéria fresca, como destacam Alcântara e Bufarah (1998), citando que o milho pode produzir de 3,5 a 5,5 t ha⁻¹ e o sorgo de 6 a 7 t ha⁻¹, sendo que estas plantas são mais utilizadas, devido a sua alta relação C/N e boa produção de matéria seca antes do enchimento dos grãos.

Culturas como milho e sorgo proporcionam uma palhada mais duradoura na superfície do solo e, através de um sistema radicular mais agressivo, podem explorar amplo perfil do solo, extraíndo e reciclando grandes quantidades de nutrientes não absorvidos pelas culturas principais, cultivadas no verão (ALTMANN, 2001).

As leguminosas desempenham um papel fundamental como fornecedoras de nutrientes, quando o sistema plantio direto está estabilizado, uma vez que as plantas dessa família têm a vantagem de prontamente disponibilizar nutrientes para culturas sucessoras, em virtude da rápida decomposição dos seus resíduos.

Segundo Floss (2000), as palhadas de gramíneas também são fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras a médio prazo, especialmente na camada superficial. São exemplos os aumentos significativos dos teores de P e K nas camadas superficiais do solo no sistema plantio direto.

Seguy e Bouzinac (1995), estudando a semeadura direta em sistemas de rotação de culturas utilizando gramíneas e leguminosas, constataram que o uso do milho comum proporcionou produções que variaram entre 3,3 a 1,0 t ha⁻¹ de matéria seca. O milho, segundo os autores, semeado tanto no início da estação chuvosa (setembro), como em sucessão a cultura de verão (safrinha), compete com as invasoras. Por apresentar um enraizamento profundo (1,4 a 1,5m), é considerado um perfeito reciclador de nutrientes, contribuindo consideravelmente com a biomassa depositada sobre a superfície do local de cultivo após a dessecação com herbicidas.

As braquiárias são amplamente adaptadas e disseminadas nos Cerrados e ocupam 85% da área com pastagem. Seu uso como cobertura morta foi registrado por Broch *et al.* (1997). Aidar *et al.* (2000), ao estudarem cinco diferentes fontes de resíduos para cobertura morta, em Latossolo Roxo de alta fertilidade, na região do Brasil Central, observaram que, dentre as principais culturas anuais, no que se refere à quantidade, apenas os restos culturais do milho foram suficientes para a formação de cobertura morta para a proteção adequada da superfície do solo. Neste mesmo estudo, verificou-se que a palhada de braquiária, associada

aos restos culturais do milho, ultrapassou $1,7 \text{ T ha}^{-1}$ de matéria seca, mantendo-se suficiente para a proteção plena da superfície do solo por mais de 107 dias.

2.5 Decomposições das palhadas e ciclagem dos nutrientes

A ciclagem biológica dos nutrientes é um mecanismo bem desenvolvido em ecossistemas equilibrados, resultando na conservação de nutrientes no sistema, permitindo a sobrevivência e a produção de grande quantidade de biomassa mesmo em ambientes com solos relativamente pobres.

Com o sistema de plantio direto, ocorre um mínimo de movimentação do solo, tendendo a uma conservação de nutrientes, sendo o sistema que mais se aproxima de um ecossistema natural. A manutenção da palhada sobre o solo e sua posterior decomposição é uma variável importante na ciclagem de nutrientes e o conhecimento da sua dinâmica é fundamental para a compreensão do processo, o que resultará numa eficiente utilização de nutrientes pelas culturas e na redução dos impactos negativos ao ambiente.

Moraes (2001) destacou que a eficácia do sistema plantio direto está relacionada à quantidade e à qualidade da palhada produzida pelas plantas de cobertura. A persistência destes resíduos ao longo do tempo, após o manejo das culturas, é fundamental para a conservação do solo, podendo melhorar as suas características físicas, químicas, hídricas e redução da erosão do solo. Assim, conhecer a dinâmica da decomposição da palha é de fundamental importância para o planejamento de práticas conservacionistas.

Entretanto, na região tropical, o clima favorece a decomposição dos restos culturais, devendo-se dar atenção à quantidade e durabilidade dos resíduos vegetais produzidos pela espécie antecessora à cultura principal (ALVES *et al.*, 1995).

Durante o processo de decomposição da cobertura vegetal (palhada), esta sofre influência de vários fatores, respondendo diferentemente ao ambiente do solo. Aqueles resíduos que permanecem na superfície do solo decompõem-se mais lentamente, quando comparados àqueles que são incorporados com operações de preparo do solo. Vários fatores afetam a decomposição de materiais adicionados ao solo, porém a velocidade com a qual determinado substrato é decomposto, depende de sua composição química e das condições do ambiente, principalmente temperatura e umidade do solo.

É muito importante à diversificação de espécies vegetais para cobertura do solo no sistema de plantio direto. O uso de leguminosas é preferido pela sua capacidade de estabelecer associação com bactérias e fixar o nitrogênio atmosférico. Além de promoverem o sistema radicular profundo, elevada produção de biomassa (SABADIN, 1984).

Outras famílias como a *Poaceae* podem ser utilizadas com essa finalidade. Segundo Sabadin (1984), as gramíneas possuem maior volume de raiz, além de representar a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais. A relação C/N mais elevada dessa, plantas implica em maior permanência dos resíduos no solo, favorecendo o estabelecimento da cobertura.

Estudos realizados por Roman e Velloso (1993) permitem sugerir que a temperatura, oxigênio, umidade, pH, nutrientes e a relação C/N dos resíduos culturais como fatores determinantes sobre taxa de decomposição, porém a relação C/N é um dos mais importantes, especialmente em sistemas conservacionistas de manejo do solo.

Estudos têm demonstrado que a concentração de carbono e de nitrogênio, a relação C/N, o conteúdo de lignina, a relação lignina:N, o conteúdo de polifenóis, e a relação polifenóis: N tem influência direta na decomposição dos resíduos vegetais (MOORE, 1986; FOX *et al.*, 1990; HEAL *et al.*, 1997).

Segundo Tian *et al.* (1993) os resíduos vegetais podem ser classificados em diferentes tipos: os de alta qualidade apresentam relação C/N baixa e baixos teores de lignina como as leguminosas, que proporcionam um efeito mais direto na produtividade das culturas, porém decompõem-se mais rapidamente, resultando em baixa porcentagem de cobertura de solo; os de qualidade intermediária são aqueles cuja palhada promove uma proteção do solo por um período mais longo; e os de baixa qualidade os que apresentam alta relação C/N e altos teores de lignina como as espécies lenhosas, que permanecem por mais tempo na superfície do solo, protegendo-o indiretamente.

Nos estudos de decomposição de resíduos vegetais nas condições de campo tem sido usado com frequência, o acondicionamento do material vegetal em sacos de tela de nylon, com malha de 2 mm. Douglas Junior *et al.* (1980) e Henrot e Brussaard (1997) destacam que este tipo de acondicionamento não promove alterações significativas no material vegetal quando comparado às condições de campo.

Stott *et al.* (1990) no entanto, afirmam que o uso de sacos de tela de nylon causam um impedimento físico à entrada de certos componentes da fauna do solo, a colonização por fungos, a diminuição na lixiviação da palhada e a proteção contra as gotas de chuva. Schunke

(1998), em ampla revisão, destaca que apesar do método poder subestimar a decomposição real, tem-se assumido que os resultados destes estudos refletem as características da decomposição do material em seu habitat normal, podendo ser utilizado para comparações entre espécies, regiões e outras avaliações mais elaboradas.

Para Palm e Sanchez (1990) um dos principais indicadores utilizados para medir a decomposição do material orgânico acumulado ao solo, são as avaliações diretas, através de medidas de perda de massa em bolsas de tela de nylon (litter bags). Alguns parâmetros químicos podem ser utilizados para avaliar a decomposição do material orgânico aportado ao solo, porém não existe um consenso na literatura sobre qual seria o melhor indicador da decomposição, e relações C/N e lignina/N são sugeridas por alguns autores (MELLILO *et al.*, 1982; BERG, 1986; TAYLOR *et al.*, 1989; TIAN *et al.*, 1992).

Brown e Dickey (1970), estudando a taxa de decomposição da palhada de trigo, sob diferentes formas de manejo, com e sem incorporação, observaram um maior percentual de resíduos vegetais, após incorporação da palha ao solo.

Segundo Douglas Junior *et al.* (1980) evidenciam uma perda de massa de 31% no resíduo de trigo mantido na superfície do solo, influenciada pela temperatura e umidade. Estes autores constataram também que houve uma relação linear entre a quantidade de resíduos culturais sobre a superfície e o tempo de exposição dos resíduos, e concluíram que para prever uma taxa de decomposição de resíduos culturais no solo ao longo do tempo, devem-se utilizar modelos de regressão linear, relacionando quantidades de resíduos e de exposição.

Amado *et al.* (2002) evidenciou que resíduos de gramíneas, quando mantidos na superfície do solo, apresentam decomposição mais lenta, quando comparado com leguminosas e crucíferas. Sugeriram que esta ocorrência é devida à alta relação C/N das gramíneas, e em muitos casos a reduzida disponibilidade de N mineral do solo.

Bertol *et al.* (1998), estudando a persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta em dois municípios de Santa Catarina, em intervalos regulares de 45 dias entre amostragens, observaram que após o período de 80 dias, o resíduo de aveia apresentou diminuição de 80% na massa e de 60% na cobertura, em ambos os locais estudados. O resíduo de milho teve a massa diminuída em 6% em Lages/SC, e em 80% em Lebon Regis/SC, e a cobertura diminuída em 40%, em ambos os locais, após o período de 225 dias. As taxas de decomposição dos resíduos culturais de aveia e milho foram, respectivamente, 100 e 90% maiores nos primeiros 45 dias do que no restante do período experimental, na média, nos dois locais estudados.

Sá (1993) destacava que a relação C/N das culturas em uma rotação influi na taxa de mineralização dos resíduos orgânicos, na mobilização e na liberação de N no solo. A decomposição é inversamente proporcional ao teor de lignina e a relação C/N, pois quanto maior este teor mais lento será a decomposição dos resíduos depositados na superfície. Assim, resíduos com relação C/N maiores que 25 formam coberturas mais estáveis no solo, enquanto que menores que 25 decompõem-se mais rapidamente.

Silveira *et al.* (2001), analisando o comportamento do feijoeiro cultivado em diferentes rotações, observou que as menores produtividades foram obtidas nas rotações que apresentaram a cultura do milho como antecessora. A menor produtividade do feijoeiro pode ser atribuída, em parte, à maior competição dos microrganismos pelo nutriente, durante a decomposição da palhada do milho que, por sua relação C/N e tamanho dos resíduos, é mais demorada que a de outras espécies, principalmente leguminosas. Existem referências de que em situação semelhante a esta, ou seja, em sucessão à cultura do milho, o feijoeiro deve receber maior quantidade de nitrogênio (EMBRAPA, 1989; SALGADO *et al.*, 1992).

2.6 Porosidade do solo

A qualidade do ambiente radicular é caracterizada pelos tamanhos dos poros e pela sua distribuição no solo. A classificação dos poros em tamanhos e suas relações de funcionalidade no contexto solo-água-planta são bem conhecidas na literatura, e especialmente documentadas por Hamblin (1985) e Dexter (1988).

O uso intensivo do solo em sistemas de cultivo onde se faz semeadura convencional é um fator importante a ser considerado no manejo do solo, pois se combinado com condições de umidade inapropriada, contribui para alteração da estrutura do solo, e prejudicando as características físicas. Isto pode ocasionar a formação de solos caracterizados por aumento na resistência a penetração, aumento da densidade e diminuição da macroporosidade.

Com semeadura direta, o solo não é revolvido, há uma tendência a compactação na camada superficial e o resultado são os aumentos da densidade do solo e da microporosidade; a diminuição da porosidade total e, sobretudo, da macroporosidade (MORAES; BENEZ, 1996; IVO; MIELNICZUK, 1999; COLLARES *et al.*, 2006).

O solo é um sistema tridimensional, complexo, composto por espaços porosos que são ocupados por água e ar (LAURANI *et al.*, 2004). A porosidade é importante para infiltração de água, desenvolvimento das raízes e transporte de gases. Em solos compactados ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, decréscimos da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo (TAYLOR; BRAR, 1991), cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais.

A porosidade do solo é uma característica que está fortemente relacionada com o ambiente físico, a penetração de raízes e o movimento de água (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002; SASAL *et al.*, 2006). Pesquisas anteriores têm mostrado que a palhada retornando ao solo pode aumentar a porosidade total do solo (LAL *et al.*, 2002), enquanto no plantio convencional esta diminui a aeração, mas aumenta a capilaridade dos poros, resultando assim em um aumento da capacidade de armazenar água (WANG *et al.*, 2007; GLAB; KULIG, 2008).

Camargo (1983) estudava a compactação do solo como uma das limitações ao cultivo das plantas, a qual pode provocar o crescimento deficiente do sistema radicular. A compactação ocorre pela diminuição dos poros do solo e com o aumento de sua densidade. Os poros mais afetados são os de tamanho maior, por onde circula quase todo o fluxo de ar e água e por onde as raízes crescem com maior facilidade.

O volume de macroporos de 10% é o mínimo necessário para difusão de oxigênio (O₂) até as raízes (XU *et al.*, 1992). Segundo Tormena *et al.* (2004) a redução no volume de macroporos reduz a difusão de O₂ no solo. A porosidade de aeração do solo menor que 10 – 15% torna-se limitante para o desenvolvimento da maioria das culturas (STOLZY; CARSON, 1974).

Segundo Queiroz *et al.* (2000), as raízes das plantas em solos compactados não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. O menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes (HAKANSSON *et al.*, 1998).

A porosidade do solo é responsável pelo armazenamento de água disponível para as plantas permitindo que, durante a falta de chuvas por um determinado período, o crescimento das plantas seja mantido sem perda de produtividade.

Silva *et al.* (2005) avaliaram os atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água no solo, em um Argissolo Vermelho distrófico sob sistemas de

preparo, após 17 anos de plantio direto, preparo convencional e preparo reduzido. Eles observaram que o carbono orgânico na camada superficial de 0,0 a 5,0 cm, no preparo convencional, foi superior aos demais sistemas, bem como decresceu com o aumento da profundidade. Os valores obtidos mostraram que a porosidade total foi maior superficialmente, entretanto, a macroporosidade no perfil variou de 9 a 20% e não foi influenciada pelos sistemas de preparo do solo, conseqüentemente as retenções da água e da água disponível também não foram afetadas.

Segundo Thangavalivelu (1994), mudanças na densidade do solo e na resistência à penetração, causadas por deslocamento de máquinas agrícolas, dependem do teor de água do solo, nas quais essas ocorrem. De acordo com o pesquisador, a compactação causada pelos rodados de tratores altera a estrutura do solo e reduz a porosidade total, e o resultado é a baixa capacidade de retenção de água.

Pesquisadores têm demonstrado o efeito da compactação nas propriedades físicas do solo, a qual aumenta a densidade do solo e por conseqüência a resistência mecânica após o tráfego de máquinas agrícolas (LOWERY; SHULER, 1994; BALL *et al.*, 1997), mas diminui a porosidade total, o tamanho e a continuidade dos poros (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999; SMUCKER; ERICKSON, 2002).

Vieira e Muzilli (1984), em ensaio realizado em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, ao compararem o sistema de preparo convencional e plantio direto, sob três rotações de cultura, durante quatro anos, na região Centro-Sul do Paraná, concluíram que o plantio direto nos primeiros anos aumentou significativamente a densidade e a microporosidade do solo, com conseqüente redução da macroporosidade.

Laurani *et al.* (2004) estudaram o efeito da distribuição de poros de um Latossolo Vermelho Eutroférico, na fase de implantação do plantio direto, utilizaram rotação de culturas como soja ou milho no verão e no inverno, milho safrinha, coquetel de adubos verdes, aveia-preta e trigo. Após três anos de implantação do experimento, eles verificaram que a matéria orgânica foi superior quando se utilizou milho em sucessão a soja em relação aos outros tratamentos e que a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total, a retenção de água e a densidade do solo não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos.

Herman e Camerom (1993), ao estudarem o efeito do preparo convencional e do cultivo mínimo sobre a estabilidade de agregados de volumes de poros, densidade do solo, infiltração de água e resistência à penetração em um solo argiloso, concluíram que o sistema

de preparo convencional propicia um rápido aumento da macroporosidade e da porosidade total na faixa de 0,0 a 0,25 m de profundidade do solo cultivado. No entanto, tal prática de preparo de solo resultou na compactação do solo determinada pela menor porosidade, maior densidade do solo e maior resistência à penetração comparada com aquela obtida no cultivo mínimo.

2.7 Densidade do solo e resistência à penetração

A densidade do solo é um indicativo da compactação. A densidade do solo aumenta quando os constituintes do solo ficam mais próximos uns dos outros e/ou as partículas menores ocupam os espaços vazios entre as maiores (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; SWEIGARD; BLUESTEIN, 2000).

Assim, muitas vezes, o preparo do solo é realizado sem levar em conta sua umidade, a qual é um fator controlador da compactação. Para evitá-la, o preparo do solo deve ser efetuado em condições de friabilidade (RESENDE, 1997), na qual este apresenta baixa resistência ao preparo e alta a moderada capacidade de suporte de carga e resistência à compressão (LARSON *et al.*, 1994).

A compactação do solo é um processo de densificação, no qual há um aumento da resistência à penetração no solo e redução da porosidade total, da macroporosidade, da permeabilidade e da infiltração de água, resultantes de cargas aplicadas na superfície do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994).

O nível crítico da densidade do solo, acima do qual o solo é considerado compactado, ainda é discutido por vários pesquisadores. Camargo e Alleoni (1997) consideraram crítico o valor de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ em solos franco argilosos a argilosos. Canillas e Salokhe (2002), detectaram redução na produtividade de milho em $1,1 \text{ t ha}^{-1}$ quando a densidade do solo aumentou de $1,53$ para $1,62 \text{ g cm}^{-3}$ em solos muito argilosos. Em geral, os solos arenosos apresentam densidade crítica mais alta.

A resistência à penetração é um dos atributos físicos também utilizados na avaliação do grau de compactação do solo, estando relacionada com a facilidade com que as raízes penetram o solo. Klein e Libardi (2002), afirmaram que a macroporosidade e a

resistência à penetração são as propriedades que mais variam com as alterações na densidade do solo.

Entre as características do solo que influenciam a resistência à penetração estão a textura, porosidade, estrutura, umidade e densidade. Rosolem *et al.* (1999), observaram maior resistência à penetração em solos argilosos. A umidade do solo é inversamente relacionada à resistência à penetração, sendo esta muito baixa quando a umidade do solo encontra-se próximo à saturação (TORMENA *et al.*, 1999).

A densidade do solo apresenta uma correlação direta com a resistência à penetração (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999). O alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (PASSIOURA, 1991). A impedância mecânica diminui a taxa de divisão celular e reduz o comprimento das células no meristema radicular (BENGHOUGH; MULLINS, 1990).

Muitos trabalhos têm estabelecido faixas de resistência à penetração que seriam responsáveis por restrições ao desenvolvimento radicular. Valores críticos de resistência à penetração dependem da espécie. Threadgill (1982) fixava os valores entre 1,5 MPa e 2,5 MPa como críticos de resistência à penetração resultando em desenvolvimento anormal e impedimento do desenvolvimento radicular em árvores frutíferas. Silva *et al.* (2002) relatam que um valor de 2,0 MPa de resistência à penetração do solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e conseqüentemente da parte aérea das plantas.

Da mesma forma, Dexter (1987) verificou que em baixos conteúdos de água no solo, valores de resistência à penetração de 1,0 MPa podem restringir o crescimento radical e que em solos mais úmidos pode haver crescimento radical em valores de resistência à penetração superiores a 4,0 MPa.

Indiretamente, a compactação do solo afeta a infiltração e a condutividade de água, temperatura e aeração do solo. Em função disso, a compactação do solo tem provocado perda de produtividade do solo, levando-o à degradação (SILVA *et al.*, 2000). Assim, nos sistemas de manejo do solo, devem-se adequar sistemas de cultivo e práticas de preparo que mantenham a estrutura favorável ao crescimento das plantas.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. 5ª ed., São Paulo: Nobel, 1998, 162 p.

ANDRADE, C.L.T.; SILVA, A.A.G.; SOUZA, I.R.P.; CONCEIÇÃO, M.A.F. **Coefficientes de cultivo e de irrigação para o caupi**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAL, 1993. 6p.

AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J.; CARNEIRO, G. E. S.; SILVA, J. G. da; DEL PELOSO, M. J. Bean production and white mould incidence under no-till system. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v. 43, p. 150-151, 2000

ALTMANN, N. Rotação de culturas: base da cobertura permanente do solo e da sustentabilidade em SPD. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.29-30.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 127-132, 1995.

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

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura no solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da. 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.

- ASSIS, J. P. **Modelo estocástico para estimação da produtividade potencial de milho em Piracicaba, SP.** 2004. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.
- BALBINO, L.C.; OLIVEIRA, E. F.; RALISCH, R. Desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.) submetido a três sistemas de manejo em um Latossolo Roxo eutrófico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Goiânia, 1994. **Resumos.** Goiânia: ABMS, 1994. p.221-225.
- BALL, B. C.; CAMPELL, D. J.; DOUGLAS, J. T.; HENSHALL, J. K.; O' SULLIVAN, M.F. Soil structural quality, compactation and management. **Soil Science Europe**, v.48, p.593-601, 1997.
- BENGHOUGH, A. G. e MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, p.341-358, 1990.
- BERG, B. Nitrogen release from litter and humus in coniferous forest soil. A mini review. **Scandinavian Journal of Forestry Research**, v. 1, p. 359-369, 1986.
- BERTOL, I.; CIPRANDI, O; KURTZ, C.; BAPTISTA, A. S. Persistência de resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 705-712, 1998.
- BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. Integração agricultura-pecuária: plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária. **Informativo Técnico, 01/97**, Maracaju: Fundação MS, 1997. 24 p.
- BROWN, P. L.; DICKEY, D. D. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34, p. 118-121, 1970.
- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Fundação Cargil. Campinas, 1983, 44 p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, ESALQ, 1997. 132p.
- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, v.65, p.221-230, 2002.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1663-1674, 2006.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Previsão de safras**, 2011. Disponível em: <<<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em 04 de fevereiro de 2011.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo bruno afetados pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

DEBAEKE, P.; ABOUDRARE, A. Adaptation of crop management to water-limited environments. **European Journal Agronomy**, v.21, n. 4, p.433-446, dez. 2004.

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, v.98, p.303-312, 1987.

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

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.175-182, 1996.

DINIZ, A.J. **Desempenho de cultivares de milho (*Zea mays* L.) em áreas de plantio convencional e direto, sob diferentes densidades de semeadura**. 1999. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1999.

DOUGLAS JUNIOR, C.L.; ALLMARAS, R.R.; RASMUSSEN, P.E.; RAMING, R.E.; ROAGER JUNIOR, N.C. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dry land agriculture of the Pacific Northwest. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 833-837, 1980.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Field Crops Research**. v. 53, p. 187-204, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). Informações técnicas para o cultivo de feijão irrigado (GO, DF, MG, ES, SP, RJ). Goiania: Embrapa-CNPAF, 1989. 35p. (**Embrapa-CNPAF. Circular Técnica, 23**).

FAO. FAOSTAT, Yielding crops, 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em 04 de janeiro de 2011.

FEBRAPDP (Federação Brasileira de Plantio direto na Palha) Evolução área de plantio direto no Brasil e no mundo. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em 04 de janeiro de 2011.

FERY, R. L.; DUKES, P. D.; MAGUIRE, F. P. Bettergreen southernpea. **HortScience**, Saint Joseph, v. 28, p. 856, 1993.

FLOSS, E. L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, v.57, p.25-29, 2000.

FOX, R. H.; MYERS, R. J.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. **Plant and Soil**, v. 129, p. 251-259, 1990.

FREITAS, P. L. de; Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, v.22, p.12-17, 2002.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Semeadura direta**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 207 p.

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2nd edition. CAB International, Willing Ford, 2001.

GLAB, T.; KULIG, B. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 169-178, 2008.

GOODMAN, M. M.; SMITH, J. S. T. Botânica. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p. 32-70.

GUÉRIF, J. **Compactage d' un massif d'agregats: effect de la teneur en eau et de la pression appliquée**. **Agronomie**. I.N.R.A, Station de Science du Sol, Centre de Recherches Agronomiques d' Avignon, Domaine Saint-Paul, Montfavet, v.2, p. 287-293, 1982.

GUIMARÃES, G. L. **Efeitos de culturas de inverno e do pousio na rotação de culturas de soja e do milho em sistema de plantio direto.** 2000, 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira/SP, 2000.

HAKANSSON, I. ;STENBERG, M.; RYDREBERG, T. Long-term experiments with different depths of moldboard plowing in Sweden. **Soil and Tillage Research.** Amsterdam, v.46, p.209-223, 1998.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advanced Agronomy**, v. 38, p.95-152, 1985.

HEAL, O.W.; ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: In: One historical Overview. GADISCH, G.; GILLER, K. eds. Driven B. **Nature: Plant Litter Quality and Decomposition**, CAB International, Wallingford, UK, 1997, p. 3-32.

HECKLER, J.C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. **Sistema plantio direto: O produtor pergunta, a Embrapa responde.** Dourados: Embrapa – SPI, 1998. p. 38-49.

HENROT, J.; BRUSSAARD, L. Determinants of *Flemingia congesta* and *Dactyladenia barteri* mulch decomposition in alley-cropping systems in the humid tropics. **Plant and Soil.** v. 191, p. 101-107, 1997.

HERMAN, B.; CAMERON, K. C. Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. **Soil and Tillage Research.** Amsterdam, v.26, p.139-150, 1993.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 667-676, 1997.

IBGE (**Instituto Brasileiro e Geografia e Estatísticas**). Produção de culturas anuais <<http://www.srda.ibge.gov>>, Acesso em: 20 nov. 2007.

IVO, W. M. P. M.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p.135-143, 1999.

- KLEIN; V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.
- LAL, R. Soil carbon sequestration in China through agricultural intensification, and restoration of degraded and desertified ecosystems. **Land Degradation and Development**. v. 13, p.469-478, 2002.
- LARSON, W. E.; EYNARD, A.; HADAS, A.; LIPIEC, J. Control land avoidance of soil compaction. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production: developments in agriculture engineering**. Amsterdam, Elsevier, 1994. p. 597-625p.
- LAURANI, R. A.; RALISCH, R.; FILHO, J. T.; SOARES, D. S.; RIBON, A. A. Distribuição de poros de um Latossolo Vermelho Eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 347-354, 2004.
- LOWERY, B.; SHULER, T. T. Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.29, p.205-210, 1994.
- MACHADO, N. F. Ensaio Comparativo entre Sistemas de Plantio Direto, Convencional, Preparo Mínimo, plantio Direto Plus. Safra 92 CDE Batavo, In CURSO INTENSIVO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 1993, Castro, PR. – **Resumos...** Castro, PR: FUNDAÇÃO ABC, 1993. p. 74-78.
- MELLILO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology** . v. 63, n. 3, p. 621-626, 1982.
- MEROTTO, M. A. J. e MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.23, p.197-202, 1999.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do autor, 1991. 337p.
- MOORE, A. M. Temperature and moisture dependence of decomposition rates of hard-wood and coniferous leaf litter. **Soil Biology Chemical**, Oxford, v. 18, p. 427-435, 1986.
- MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.16, n.2, p.31-41, 1996.

MORAES, R. N. S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto.** 2001, 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Lavras/MG, UFLA, 2001.

MUZZILI, O. O. **O plantio direto com alternativas no manejo e conservação do solo.** In: Curso básico para instrutores em manejo e conservação do solo. Londrina: IAPAR, 1991, 20 p.

PAGLIAI, M. ; VIGNOZZI, N. Soil pore system as an indicator of soil quality. **Advances in Geocology.** v. 35, p. 69-80, 2002.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. **Biotropica.** Washington, v. 232, n.4, p. 330-338, 1990.

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research.** v.29, p.717-728, 1991.

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.** 1990. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

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.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v.35, p.929-938, 2000.

RESENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo: metodologias para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. **Anais... CONGRESSO BRASILEIRO DECIÊNCIA DE SOLO,** 26, Rio de Janeiro, 1997. Palestras Rio de Janeiro, SBCS/EMBRAPA, 1997. CD-ROOM.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDI, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte,** p. 82- 90. 2ª ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007.

ROMAN, E. S.; VELLOSO, J. A. R. O. Controle cultural, coberturas mortas e alelopatia em sistemas conservacionistas, In: **Plantio direto no Brasil**, p. 77-84. 1993.

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

SÁ, J. C. M. **Manejo de fertilidade do solo em plantio direto**. Fundação ABC, Carambeí, Castro/PR, 1993, 96 p.

SA, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumo das palestras. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61.

SABADIN, H. C. Adubação verde. **Lavoura Arrozeira**. v. 37, n. 354, p. 19-26, 1984.

SALGADO, L. T.; ARAÚJO, G. A. A.; VIEIRA, R. F. Efeito de espaçamento e época de aplicação de nitrogênio em dois cultivares de feijão no outono-inverno. In: Epamig (Belo Horizonte, MG). **Projeto Feijão: relatório 88/92**. Viçosa, 1992. p.19-22.

SASAL, M. C.; ANDRIULO A. E.; TABOADA, M. A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. **Soil and Tillage Research**. v. 87, p. 9-18, 2006.

SATURNINO, H. M; LANDERS, J. N. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1997, 116 p.

SATURNINO, H. M. Evolução do plantio direto e as perspectivas nos cerrados. In: Plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, n. 208, p. 5-12, jan/fev. 2001.

SCHUNKE, R. M. **Qualidade, decomposição e liberação de nutrientes da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum***. 1998. 88 f. Tese (Doutorado em Solos), UFRRJ, Seropédica-RJ, 1998.

SEGUY, L.; BOUZINAC, S. O. O plantio direto no cerrado úmido. **Informações Agronômicas**. Piracicaba-SP, v.3, n. 69, 1995.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, p.239-249. 2000.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H. MÜLLER, M. M. L; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002, p.1-18.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionado ao armazenamento de água em Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, n. 3, p.544-552, mai-jun, 2005.

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

SMITH, M. S.; WILBUR, W. F.; VARCO, J. J. Legume winter cover crops. **Advanced Soil Scientia** . v. 7, p. 95-138, 1987.

SMUCKER, A. J. M.; ERICKSON, A. E. Tillage and comparative modifications of gaseous flow and soil aeration. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanics related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: NATO Applied Science, 1989. v. 172, p. 205-221.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van, eds. **Soil compaction in crop production**. Netherlands: Elsevier, 1994. p.1-21.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa – MG, v.28, n.3,p.937-944, 2004.

STOLZY, L. H. ;CARSON, E.W. **The plant root and its environment**. Soil atmosphere. Charlottesville. University Press of Virginia, p.335-361, 1974.

STOTT, D.E; STROO, H. F.; ELLIOTT, L. F.; PAPENDICK, R. I.; UNGER, P.W. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society of America Journal**. v. 54, p. 92-98, 1990.

SUDENE. **Superintendência Região Nordeste em números**. Recife: SUDENE, 1997.62 p.

SUMMERFIELD, R. J.; HUXLEY, P. A; STEEL, W. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Field Crop Abstracts**. v. 27, p. 301-312. 1974.

SWEIGARD, R. J. e BLUESTEIN, P. **Use of field measurements to predict reforestation success**. University of Kentucky, p.129-141, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Eds.). **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**. v. 70, n. 1, p. 97-104, 1989.

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

THANGAVALIVELU, S. Soil response to track and wheel tractor traffic. **Journal of Teramechanics**. Hanover, v.31, n.1, p.41-50, 1994.

THREADGILL, E. D. Residual tillage effects as determined by cone index. **Transactions of the ASAE**. v.25, p.859-863, 1982.

TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSARD, B. L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – Decomposition and nutrient release. **Soil Biology Biochemistry**. v. 25, n. 10, p. 1051-1060, 1992.

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSARD, B. L. Mulching effect of plant residues with chemically contrasting compositions on maize growth and nutrients accumulation. **Plant and Soil** . Tha Hagua, v. 153, p. 179-187, 1993.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York, Macmillan Publishing, 1990. 754p.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a brazilian oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**. v.52, p.223-232, 1999.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxas e estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

YOKOYAMA, L.P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, T. Aspectos socio-econômicos da cultura do feijão. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, p. 2-4, 1996.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.19, n.7, p.873-882, 1984.

WANG, X. B.; CAI, D. X.; PERDOK, U. D.; HOOGMOED, W. B.; Development in conservation tillage in rainfed regions of North China. **Soil and Tillage Research**. v. 93, p. 239-250, 2007.

WIETHOLTER, S.; BEM, J. R.; KOCHHANN, R. A.; POTTKER, D. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. ed. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Lages-RS, p.121-149, 1998.

XU, X.; NIBER, J.L.; GUPTURA, S C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.56, p.1743-1750, 1992.

CAPÍTULO 2

Influência da cobertura morta na produtividade de milho e feijão-caupi em rotação no sistema plantio direto, na região semiárida do Nordeste brasileiro

RESUMO

O sucesso do plantio direto está diretamente relacionado à persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo, a qualidade e a quantidade desses resíduos produzidos e a reciclagem dos nutrientes proporcionada pela mineralização. O objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição das coberturas mortas - vegetação natural, milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L Moench) e a cobertura morta formada no plantio convencional, na produção de biomassa e produtividade do milho e feijão-caupi, nos sistemas de plantio direto SPD1 (milho em sucessão ao feijão-caupi) e SPD2 (feijão em sucessão ao milho) nas condições semiáridas do município de Quixadá, Ceará, Brasil, nos anos agrícolas de 2008 e 2009. Avaliou-se também o tempo de permanência e a taxa de decomposição da cobertura morta proporcionada pelo milho e feijão-caupi. A vegetação natural produziu em média 6,0 t ha⁻¹, semelhante as demais coberturas de biomassa investigadas tanto no SPD1 como no SPD2. A liberação de resíduos para o solo, ao final de dois anos de avaliação foi maior na área com a cobertura morta do feijão-caupi do que na do milho. As produtividades de grãos do milho e do feijão-caupi foram significativamente menores nos tratamentos com cobertura morta do que no plantio convencional, em 2008 e 2009.

Palavras-chave: Cobertura morta. Biomassa. Rotação de cultura.

The contribution of straw from different sources on yield of corn and cowpea, under two minimum tillage systems in the semiarid region of Northeast of Brazil

ABSTRACT

The success of minimum tillage is directly related with the remaining of crop residues on soil surface, the quality and quantity of straw and its mineralization promoting recycling of the nutrients. The aim of this study was to evaluate the contribution of straw from natural vegetation, millet (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*), brachiary (*Brachiaria brizantha*); forage sorghum (*Sorghum bicolor* L Moench), and the straw from conventional tillage, on corn and cowpea grain yield under two minimum tillage systems: SPD1 (corn following cowpea) and SPD2 (cowpea following corn), under the semiarid conditions of the Quixada County, Ceara, Brazil, during 2008 and 2009. It was evaluated also the period of duration of the straw on soil surface and the rate of decomposition of the straw from corn and cowpea. The straw yield from natural vegetation was around 6,0 t ha⁻¹ similar to the yield of the others soil biomass covers in both SPD1 and SPD2 minimum tillage systems. The degradation of the vegetal residues to the soil at the end of two years of evaluation was greater when the dry matter from cowpea was used as straw when compared with the straw from corn. The grain yield of corn from the different death cover was significantly lower than the conventional in 2008 and 2009. The cowpea yield was higher from conventional planting than from than the minimum tillage with different straw covers.

Keywords: Mulch. Biomass. Crop rotation.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de manejo conservacionistas têm como princípio a manutenção da cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, sendo uma forma de manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES *et al.*, 2006). Assim a cobertura vegetal tornou-se fator de importância para a proteção do solo e formação da palhada e contribuição na melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990).

A eficácia do sistema com semeadura direta está relacionada com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura, a persistência desses resíduos sobre o solo, a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes (DINIZ, 1999).

A cobertura morta mantida na superfície funciona como elemento isolante, reduzindo a variação térmica e hídrica no solo. A germinação das plantas naturais estando intimamente ligado a esses fatores reduz-se substancialmente no solo com grande quantidade de cobertura morta, que ao se decompor em superfície libera gradativamente uma série de compostos orgânicos denominados aleloquímicos, os quais interferem diretamente na germinação e emergência das plantas naturais (ADEGAS, 1997).

A presença da cobertura morta proporciona uma ciclagem de nutrientes sendo considerado na sustentabilidade dos sistemas agrícolas e otimizando os recursos internos (CHAGAS *et al.*, 2007). Assim, a decomposição de resíduos em solos aumenta a disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes (REICOSKY; FORCELLA, 1998), propicia maior liberação de N e P (MUZILLI, 1981), além de aumentar a disponibilidade de Ca e Mg, entre outros nutrientes, nas camadas superficiais do solo (CALEGARI *et al.*, 1992).

Uma espécie vegetal para a cobertura do solo deve ser de fácil estabelecimento, rápido desenvolvimento, grande agressividade para o controle de plantas infestantes, tolerante aos longos períodos de estiagem, facilidade de eliminação e não competição com a cultura subsequente (LAL, 1979).

A utilização de espécies de cobertura para a formação de palha é um requisito importante para a implantação/manutenção do sistema plantio direto. De modo geral, há falta de opção de culturas para o Nordeste, com predominância do cultivo de milho e feijão-caupi no período das chuvas e no verão quando não há precipitação pluvial. Nesse período, o solo

fica exposto à ação direta dos agentes do clima, propiciando perdas de água, e prejuízo ao solo (FIALHO *et al.*, 1991).

Uma das alternativas consiste no cultivo de espécies vegetais com possibilidade de produção de elevada fitomassa para formação de palha e de permanência duradoura na superfície do solo (ASSIS *et al.*, 2003).

A taxa de decomposição dos resíduos vegetais é controlada pelas características qualitativas do material vegetal, principalmente pela relação C/N e o teor de lignina, pelo manejo que definirá o tamanho dos fragmentos (BORTOLUZZI; ELTZ, 2000), que, em conjunto com a ação do clima, principalmente temperatura do ar e precipitação pluvial (HOLTZ, 1995; ESPINDOLA *et al.*, 2006) influenciam a atividade dos organismos decompositores (MOORE, 1986), podendo acelerar ou reduzir o processo de decomposição. O processo de decomposição é diferenciado entre leguminosas e gramíneas, sendo dependente da qualidade bromatológica das espécies vegetais, principalmente em relação à concentração de nitrogênio, das condições climáticas e da atividade microbiana no solo.

As espécies de cobertura do solo da família *Fabaceae* (leguminosas) são mais utilizadas como adubos verdes devido à incorporação de nitrogênio fixado pelas bactérias fixadoras, associadas às raízes, e à rápida decomposição de sua palha, provocada pela baixa relação C/N (< 20), sendo importante na ciclagem de nutrientes (ROSOLEM *et al.*, 2003).

Na família *Poaceae* (gramíneas), devido à elevada relação C/N, entre 30 e 40, 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 (ROSOLEM *et al.*, 2003).

No entanto, devido às elevadas temperaturas associadas com a baixa umidade da região Nordeste, é necessário a escolha de uma cultura com relação C/N adequada para que durante a formação da palha não tenha uma elevada taxa de decomposição. Assim haverá palha em quantidade necessária para implantação / manutenção do sistema plantio direto.

Este estudo teve por objetivos estimar a taxa de decomposição dos resíduos das culturas de milho e feijão-caupi em rotação no sistema plantio direto; determinar os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no material vegetal mantido como cobertura morta; avaliar a proporção de plantas de cobertura sobre a fitomassa de plantas espontâneas e o rendimento das culturas do milho e feijão-caupi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Lavoura Seca, município de Quixadá, pertencente à Universidade Federal do Ceará, de janeiro de 2008 a dezembro de 2009.

O município de Quixadá está localizado geograficamente na microrregião do Sertão Central do estado do Ceará, com coordenadas de S: 4° 59' e W: 39° 01', altitude de 190 m (BRASIL, 1973).

2.1.1 Histórico da área

A área estava há mais de um seis meses em pousio e apresentava um histórico de mais de 10 anos em plantio convencional. Em 2007 antes da implantação do plantio direto a área foi cultivada com a cultura da mamona.

2.1.2 Clima

O clima da região é classificado, conforme Köppen, como semi-árido do tipo BsH, quente e seco. O município apresenta precipitação pluviométrica média de 873,3 mm, temperatura média anual de 26,7° C, e umidade relativa do ar de 70% (BRASIL, 1973).

As médias mensais de temperatura e precipitação pluviométrica, nos anos 2008 e 2009 foram obtidas no acervo da Estação Meteorológica da Fazenda Lavoura Seca. A precipitação acumulada no período de condução do trabalho foi de 816,3 e 1225,2 mm para os anos de 2008 e 2009, respectivamente. Todavia, a distribuição dessa precipitação foi irregular, com mais de 75% do total das chuvas tendo ocorrido entre os meses de janeiro e junho (Figura 2.1).

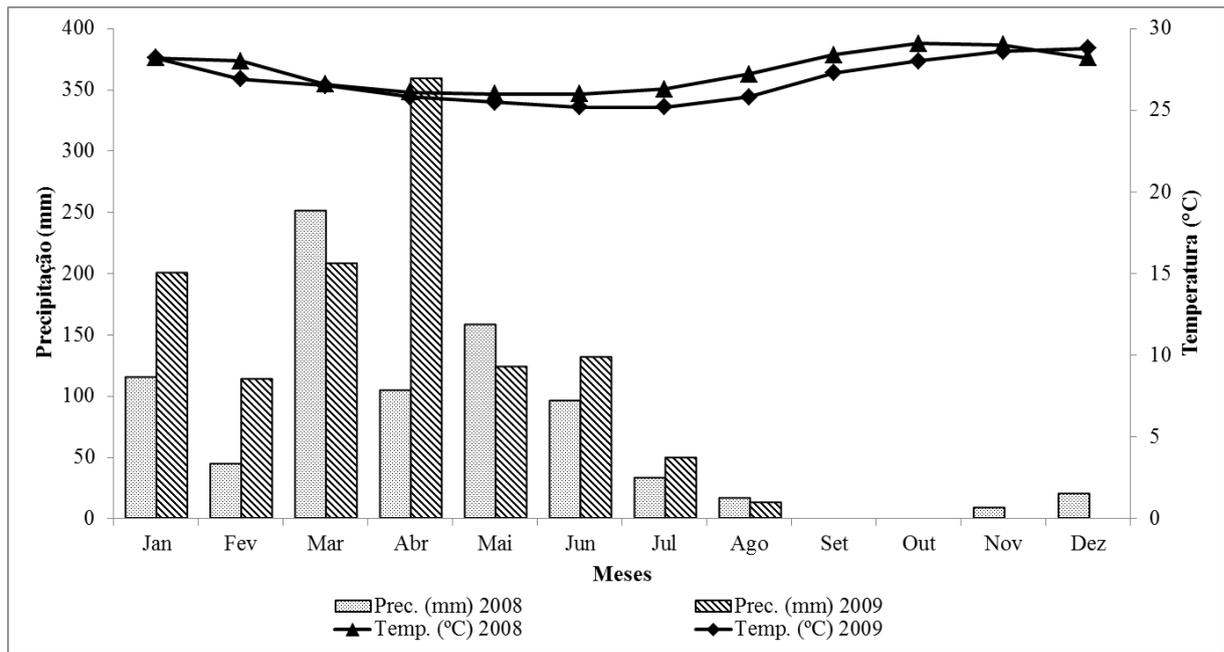


Figura 2.1 - Temperatura e precipitação pluviométrica média obtida junto a Estação Meteorológica da Fazenda Lavoura Seca em Quixadá – CE.

2.1.3 Solo

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo, que se caracteriza por velocidade de infiltração da água muito rápida na superfície e lenta em subsuperfície (EMBRAPA, 1999).

Antes da instalação dos experimentos foram retiradas, da área experimental, amostras de solo coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm para determinação das características físicas e químicas, realizadas no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, conforme consta na (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Granulometria e características químicas do solo das áreas experimentais em 2008 e 2009. Quixadá, CE

Área*	Ano	Granulometria			pH H ₂ O	M.O.	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺
		Areia	Silte	Argila							
		g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			
1	2008	760	180	60	6,3	8,59	0,005	0,20	1,70	2,30	0,16
2	2008	760	180	60	6,3	8,59	0,005	0,20	1,70	2,30	0,16
1	2009	755	175	70	5,9	6,21	0,014	0,23	1,30	0,70	1,49
2	2009	755	175	70	5,6	6,83	0,014	0,19	1,70	1,10	1,65

*Área 1: milho (2008) e feijão-caupi (2009), Área 2: feijão-caupi (2008) e milho (2009).

2.2 Experimento de campo

Foram avaliados 5 situações de cobertura de solo nos anos agrícolas 2008 e 2009, conforme segue: cobertura natural com milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench); vegetação natural e a testemunha sem cobertura.

As diferentes coberturas foram mantidas em duas parcelas distintas, denominadas Sistema de Plantio Direto 1 (SPD 1) e Sistema de Plantio Direto 2 (SPD 2). Em 2008, no SPD 1 plantou o milho híbrido BR 205 e no SPD 2 feijão-caupi cv. Setentão. Em 2009, cultivaram-se as mesmas coberturas de 2008, porém, na área que recebeu milho no ano anterior plantou-se o feijão-caupi e na área anteriormente plantada com feijão-caupi plantou-se milho, num sistema de rotacional (Figura 2.2).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 5 tratamentos. O experimento foi conduzido por dois anos consecutivos.

O milho foi plantado manualmente em covas no espaçamento 1,0 m x 0,4 m e as parcelas tinham seis linhas de 10 m de comprimento, com área total de 60 m² e área útil as duas fileiras centrais com 20 m². O plantio foi realizado deixando-se duas plantas por cova, o que corresponde a uma população de 50.000 plantas ha⁻¹.

O feijão-caupi foi plantado manualmente em covas no espaçamento 1,0 m x 0,5 m e as parcelas eram compostas por 6 linhas de 10 m de comprimento, tendo como área útil as duas linhas centrais com 20 m² e área total de 60 m². O plantio foi realizado deixando-se duas plantas por cova, o que corresponde a uma população de 40.000 plantas ha⁻¹.

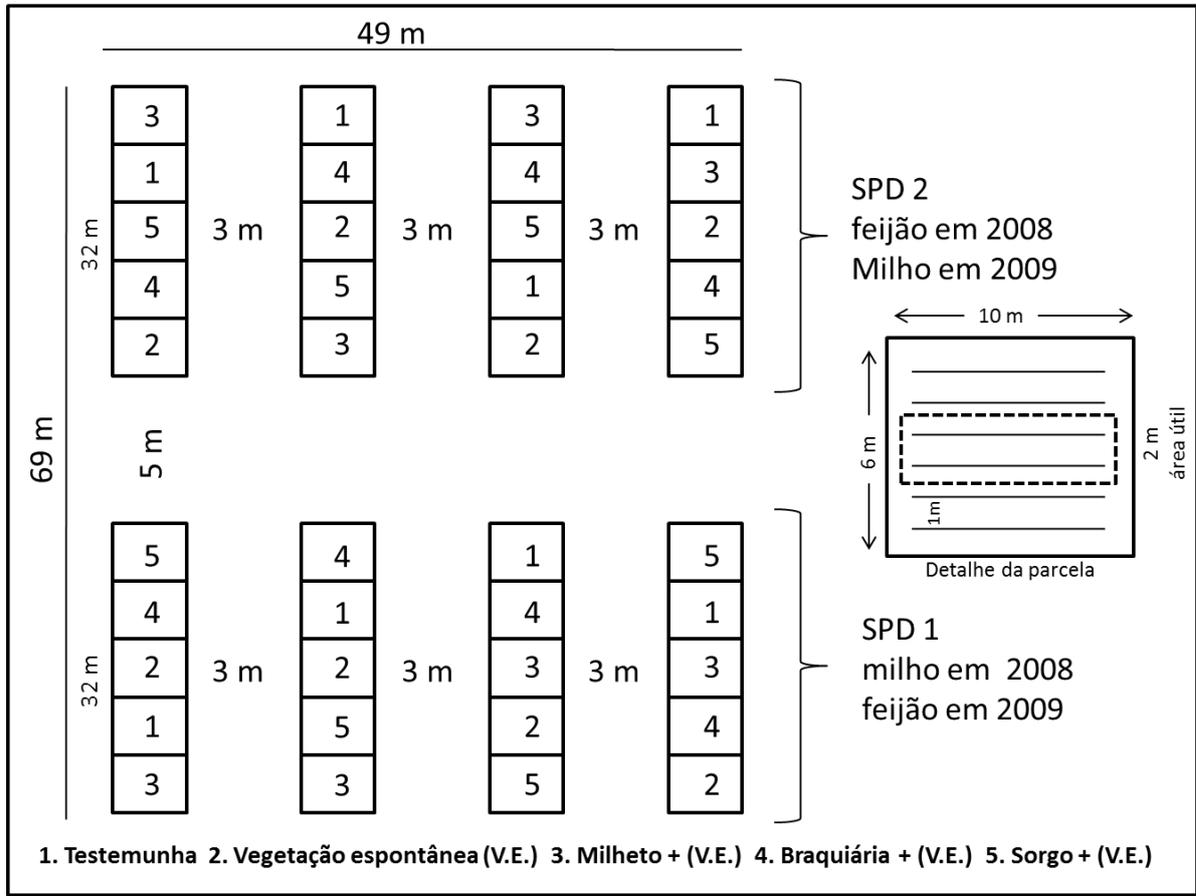


Figura 1.2 - Distribuição dos tratamentos (tipos de cobertura morta) e detalhe da parcela no campo experimental. Quixadá, CE, 2008 e 2009.

2.3 Condução do experimento

2.3.1 Formação da cobertura morta

A braquiária, milheto e sorgo forrageiro usadas na formação da cobertura morta foram plantadas no início de janeiro dos anos agrícolas de 2008 e 2009, após a ocorrência das primeiras chuvas (Figura 1). Em 2008 o plantio foi realizado a lanço e em 2009 em covas. Após 75 dias do plantio foi realizada a dessecação da cobertura vegetal utilizando-se os herbicidas Glifosato (480 Agripec), na dose de 5 L ha⁻¹ (correspondendo a 2,4 kg ha⁻¹ do ingrediente ativo) em 2008 e 2009 a mistura Glifosato (480 Agripec) mais 2,4-D (DMA 806 BR). Esta mistura tinha a proporção de 3 L ha⁻¹ de Glifosato para 2 L ha⁻¹ de 2,4-D. Após a

emergência do milho e do feijão-caupi as plantas naturais foram controladas com Sanson 40 SC na dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ e Podium EW na dose de 1 L ha^{-1} nos dois anos agrícolas. Para as aplicações dos herbicidas utilizou-se um pulverizador costal da marca Jacto PJH com capacidade para 20 L.

2.3.2 Avaliação da cobertura morta

Aos 75 dias do plantio (DAP) das espécies usadas como cobertura morta procedeu-se em cada parcela a coleta de duas amostras das plantas daninhas para avaliação da massa da matéria-seca, utilizando-se um quadrado de madeira de área útil de $0,25 \text{ m}^2$, o lançamento era feito de costas para evitar tendências durante a coleta do material. Todo o material encontrado dentro do quadrado foi coletado, cortando-se as plantas o mais rente possível do solo, levadas para laboratório, onde foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas. As amostras secas foram pesadas e calculadas as massas para kg ha^{-1} . Após a coleta das amostras, procedeu-se a dessecação do material remanescente com herbicidas.

O plantio do milho e feijão-caupi foi realizado sete dias após a dessecação das plantas daninhas.

2.3.3 Descrição de cultivares de milho e feijão-caupi

Utilizou-se o milho híbrido duplo BR 205 adaptado a regiões tropicais, precoce, de alta produtividade, com tolerância à toxidez de alumínio e ao estresse hídrico. Possui espigas com excelente empalhamento, o que protege os grãos contra o ataque de pragas, além de reduzir perdas causadas por podridão. Os grãos são semi-dentados, de cor amarela alaranjada (EMBRAPA, 2009).

Quanto ao feijão-caupi utilizou-se a cv. Setentão, desenvolvida pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Esta leguminosa apresenta crescimento

indeterminado, porte semi-ramador, ciclo de 65-70 dias, flor violeta, comprimento da vagem 21 cm (PAIVA, 1988).

2.3.4 Adubação e preparo da área

Todos os tratamentos para a cultura do milho receberam doses iguais de NPK na formulação de 70-40-40 kg ha⁻¹ e para cultura do feijão-caupi de 20-50-30 as fontes usadas na formulação das misturas foram: ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente, de acordo com os resultados da análise química (Figura 2.1) e a exigência das respectivas culturas (MALAVOLTA, 1987).

Por ser a ureia a fonte de nitrogênio muito volátil e de fácil lixiviação, foi aplicada em duas vezes para cultura do milho: uma na ocasião do plantio (20 kg ha⁻¹) e a outra 30 dias após emergência utilizando-se (50 kg ha⁻¹) com os demais nutrientes (P e K) em sulcos distanciados de 20 cm das covas de plantio. Os demais nutrientes foram aplicados de uma vez na cova de plantio (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 1993).

Em função dos teores de cálcio e de magnésio verificados no solo (Tabela 2.1), não foi feito calagem.

Nas parcelas do tratamento testemunha o preparo da área consistiu de uma gradagem 2 dias antes do plantio em que incorporou as plantas naturais. A semeadura do milho e feijão-caupi foi realizada em 20 de março de 2008 e 25 de março de 2009 em covas abertas à enxada, com distribuição de quatro sementes por cova e o desbaste foi realizado quando as plantas atingiram 20 cm de altura, deixando-se duas por cova. Neste sistema de plantio foram realizadas três capinas manuais com enxada para o controle de plantas daninhas. Outras atividades realizadas na área podem ser observadas na (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Atividades desenvolvidas durante o período experimental em 2008 e 2009. Quixadá, CE.

Atividades	Épocas
Amostragem do solo para análise química	Novembro 2007
Semeadura das culturas de coberturas	Dezembro 2007
Dessecação das culturas de cobertura	Março 2008
Plantio de semeadura direta milho e feijão	Março 2008
Amostragem do solo para análises físicas	Abril 2008
Colheita do feijão	Junho 2008
Colheita do milho	Julho 2008
Amostragem do solo para análise química	Novembro 2008
Semeadura das culturas de coberturas	Dezembro 2008
Dessecação das culturas de cobertura	Março 2009
Plantio de semeadura direta milho e feijão	Março 2009
Amostragem do solo para análises físicas	Abril 2009
Colheita do feijão	Junho 2009
Colheita do milho	Julho 2009

2.3.5 Colheita e beneficiamento

A área total do experimento foi de 2.400 m². Nos dois experimentos a coleta dos dados para os componentes de crescimento e desenvolvimento do milho e feijão-caupi foram realizadas em quatro plantas marcadas aleatoriamente na área útil da parcela. A coleta dos dados para os componentes de produção foi realizada nas plantas da área útil da parcela excetuando-se as da bordadura.

Manualmente, colheram-se as 2 linhas centrais de 10 metros lineares, excetuando-se as plantas da bordadura. Para o milho as espigas foram despalhadas, acondicionadas em sacos de nylon e foram debulhadas manualmente. Para o feijão-caupi as vagens foram colhidas e acondicionadas em sacos de nylon e debulhadas manualmente. Após a debulha procedeu-se a pesagem dos grãos e os valores obtidos transformados para kg ha⁻¹.

2.3.6 Taxa de decomposição da matéria-seca do milho e do feijão-caupi

Na fase de florescimento foi coletada a parte aérea de 20 plantas úteis de milho e feijão-caupi para a avaliação da taxa de decomposição e tempo de meia vida, empregando-se o método das bolsas de decomposição (litter bags) conforme descrito por Santos e Whitford (1981), Schunke (1998) e Espindola *et al.* (2006). Na avaliação da decomposição dos resíduos vegetais e a taxa de liberação (k), aplicou-se um modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993) e utilizado por Rezende *et al.* (1999) conforme equação (1) a abaixo:

$$X = X_0 e^{-k t} \quad (1)$$

Sendo, X a quantidade de matéria-seca remanescente após um período de tempo t, em dias; X_0 a biomassa inicial, e k a taxa de decomposição do resíduo. Aplicando \ln^e e reorganizando a equação (1) obtém-se a equação (2):

$$k = \ln(X / X_0) / t \quad (2)$$

Considerando que no tempo de meia vida $T_{1/2}$ $X = X_0 / 2$ é possível calcular a taxa de decomposição (k), e com o valor obtido pode-se chegar ao valor de $T_{1/2}$ da matéria seca ou nutriente, pela equação (3):

$$T_{1/2} = \ln(2) / k \quad (3)$$

sendo $\ln(2)$ o logaritmo neperiano de dois, que é um valor constante; k é a taxa de decomposição. Os valores obtidos expressam o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha (ESPINDOLA *et al.*, 2006).

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Produção de matéria-seca da cobertura morta

A produção de matéria-seca da cobertura morta foi avaliada por meio de coletas compostas de duas subamostras por parcela, realizadas em março, julho e novembro de cada ano agrícola. As amostras da cobertura morta foram obtidas utilizando-se um quadrado (0,25 x 0,25 m) lançado aleatoriamente duas vezes na parcela, conforme método utilizado por Lana (2007) e Steinmaus *et al.* (2008). O material vegetal colhido foi levado ao laboratório, colocado em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h, sendo posteriormente pesado e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

As plantas naturais dominantes na área foram identificadas em amostras colhidas em áreas adjacentes com ao experimento.

2.4.2 Decomposição da biomassa do milho e feijão-caupi em bolsas de nylon (litter bags)

A decomposição da biomassa do milho e feijão-caupi foi estimada conforme método proposto por Thomas e Asakawa (1993), sendo colocado o material vegetal em bolsas de tela de nylon, malha 2 mm, no formato (15 x 15 cm) e as bolsas encubadas no solo. Em cada bolsa, foram colocados 50 g da parte aérea das culturas milho e feijão seca em estufa, a 65 °C, até massa constante, sendo distribuídas 10 bolsas na superfície do solo em cada parcela. As bolsas foram avaliadas pela massa residual nos meses de junho, setembro e novembro.

Para cada tratamento e época coletou-se 2 bolsas de nylon. Após a coleta das bolsas, o material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C até massa constante.

A taxa de decomposição da matéria-seca entre as amostras foi calculada através da perda de peso das amostras colhidas nas diferentes épocas. Também foi calculado o teor de C pelo método volumétrico do dicromato de potássio (EMBRAPA, 1999), o teor de N pelo método micro Kjeldahl, conforme Silva e Queiroz (2002) e a relação C/N.

2.5. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelos testes de Bartlett através do software Assistência Estatística 7.5 (SILVA, 2002).

A análise de variância em parcelas subdivididas foi realizada e de acordo com a significância dos fatores cobertura, ano e épocas; ano x cobertura; épocas x cobertura x ano para o teste F e foram feitas comparações de médias dos tratamentos. Nestas comparações utilizou-se o teste Tukey ($p < 0,05$), segundo (SILVA, 2006)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de biomassa da vegetação natural e cultura de cobertura nos sistemas SPD1 e SPD 2

A cobertura morta é um dos pré-requisitos para a prática do plantio direto. Neste estudo avaliou-se a contribuição da cobertura morta proporcionada pelo sorgo, milho e braquiária junto a vegetação natural, em 2 sistemas de rotação com cultivo de milho e feijão, durante os anos de 2008 e 2009. No sistema de plantio direto 1 (SPD1) o feijão foi plantado em sucessão ao milho e no sistema de plantio direto 2 (SPD2) o milho em sucessão ao feijão.

Tabela 2.3 - Resumo da análise de variância para a biomassa das plantas nos sistemas de plantio direto avaliados em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios	
		SPD 1	SPD 2
Blocos	3	14139402,28*	4623472,44 ^{ns}
Coberturas (A)	4	83625820,97**	91683315,73**
Resíduo (a)	12	3823998,54	1989546,25
Ano (B)	1	115496399,06**	725995213,33**
A x B	4	33013408,53**	15239584,19 ^{ns}
Resíduo (b)	15	6224116,57	5152459,55
Época (C)	2	252819390,57**	101223852,29**
A x C	8	47511745,94**	41414434,47**
B x C	2	129581301,62**	67718013,33**
A x B x C	8	4941518,01**	26844299,55**
Resíduo (c)	60	1247809,01	4795351,15
C.V. (a)	-	33,82	23,88
C.V. (b)	-	43,15	38,42
C.V. (c)	-	19,32	37,07

ns = não significativo no teste F; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

Foram verificadas diferenças na biomassa para as coberturas ($p \leq 0,01$), anos ($p \leq 0,01$) e épocas de coleta ($p \leq 0,01$) nos sistemas SPD1 e SPD2 (Tabela 3). Porém, não houve interação significativa entre os fatores “coberturas” e “ano” ($p > 0,05$) para a biomassa no sistema SPD2. Resultado oposto foi verificado para SPD1 ($p \leq 0,01$) (Tabela 3). Houve interação entre os fatores “coberturas”, “ano” e “épocas” houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) em ambas as áreas (Tabela 2.3).

3.1.1 SPD 1

No sistema SPD1, foi avaliado o desempenho do milho e o feijão-caupi e as coberturas mortas que foram formadas pelo milho, sorgo e braquiária, plantadas antes da cultura principal associada à vegetação natural.

A biomassa produzida pelas coberturas mortas nos tratamentos com vegetação natural (VN), vegetação natural e sorgo (VN + S), vegetação natural e milho (VN + M) e vegetação natural mais braquiária (VN + B) não diferiram entre si, em 2008 e 2009. Porém, quando comparados com a biomassa obtida no sistema convencional de plantio (uso de gradagens no preparo do solo) em 2009, as coberturas foram superiores. No ano anterior, em 2008, apenas a cobertura proporcionada pela (VN + B) atendeu a essa condição (Tabela 2.4).

A diferença na produção de biomassa entre 2008 e 2009 pode ser atribuída a maior pluviometria ocorrida em 2009 e efeito do manejo do solo em plantio direto (Figura 2.1). Com base nesses resultados podemos inferir que o plantio de milho, sorgo ou braquiária, antes da cultura principal, como forma de aumentar a cobertura morta não se mostrou vantajoso em relação à vegetação natural.

Esse fato pode ser atribuído ao pouco tempo decorrido entre o plantio dessas culturas e a aplicação do dessecante, pois como o período chuvoso é curto as culturas de cobertura são dessecadas precocemente.

Tabela 2.4 - Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos no SPD1 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tipos de Coberturas	2008	2009	Média	Variância
Convencional	3320,00 bA	1633,33 bA	2476,66	1892348,93
Vegetação natural (VN)	4566,66 abB	8205,55 aA	6386,11	5865630,21
Milho + VN	4866,66 abB	8516,66 aA	6691,66	7198616,27
Braquiária + VN	6566,66 aA	7447,22 aA	7006,94	1773402,01
Sorgo + VN	4683,33 abB	8011,11 aA	6347,22	3708949,85

Estatística do teste (X^2) = 5,13; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em 2008 a produção de biomassa (kg ha^{-1}) foi significativamente superior para o tratamento com braquiária produzindo 6.566 kg ha^{-1} , para os demais tratamentos o convencional foi significativamente inferior produzindo 3.320 kg ha^{-1} . Para o ano de 2009 somente o tratamento convencional foi significativamente inferior dos demais produzindo 1.633 kg ha^{-1} valor este muito abaixo dos outros tratamentos que produziram em média 8.000 kg ha^{-1} (Tabela 2.4).

Considerando a média dos dois anos (2008 e 2009) para o SPD1, a produção de biomassa (kg ha^{-1}) da cobertura morta no tratamento testemunha (convencional) foi inferior aos demais, com 2.476 kg ha^{-1} , enquanto a média das demais coberturas foi de 6.500 kg ha^{-1} . Este resultado indica que a vegetação natural foi capaz de produzir biomassa em quantidade suficiente à obtida nos tratamentos que usaram culturas para favorecer essa produção. (Tabela 2.4).

O sistema convencional apresentou uma média de 405 kg ha^{-1} de biomassa em março de 2008 e 2009, porém este resultado é explicado pelo rápido desenvolvimento de plantas naturais após a aração e gradagens (Tabela 2.5).

Para a vegetação natural, Aita *et al.* (2001) cultivando em um Argissolo Vermelho distrófico no Rio Grande do Sul verificaram valores de produção de biomassa de 1.100 kg ha^{-1} , sendo estes valores inferiores para 2008 e 2009 aos encontrados neste estudo.

Com relação à biomassa da cobertura morta obtida nos meses de março, julho e novembro de 2008 constata-se que em março, a produção foi superior as demais épocas. O aumento na produção de biomassa não esperado para o mês de novembro em 2008 pode ser explicado pelas chuvas fora de época na região que favoreceram o crescimento das plantas de vegetação natural (Figura 2.1) e (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos em diferentes épocas de coleta no SPD1 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tipos de Coberturas / Ano	Março	Julho	Novembro
Convencional / 2008	410,00 C	3750,00 B	5800,00 A
Convencional / 2009	400,00 B	3800,00 A	700,00 B
Vegetação natural (VN) / 2008	5500,00 A	3750,00 A	4450,00 A
Vegetação natural (VN) / 2009	14200,00 A	6900,00 B	3516,66 C
Milheto + VN / 2008	6500,00 A	4150,00 B	3950,00 B
Milheto + VN / 2009	14700,00 A	7200,00 B	3650,00 C
Braquiária + VN / 2008	10600,00 A	3250,00 C	5850,00 B
Braquiária + VN / 2009	13000,00 A	6150,00 B	3191,66 C
Sorgo + VN / 2008	6650,00 A	3900,00 B	3500,00 B
Sorgo + VN / 2009	14150,00 A	6450,00 B	3433,33 C
Médias	8611,00	4930,00	3804,16

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em março de 2009, a produção de biomassa foi de 11.290 kg ha⁻¹ superior às demais épocas daquele ano. Examinando-se a medida de produção de biomassa em 2008 e 2009, constata-se decréscimo de março a novembro (Tabela 2.5).

A produção de biomassa da braquiária + VN, em março de 2008 foi superior das demais coberturas, produzindo 10.600 kg ha⁻¹, o que pode ser explicado pela melhor germinação dessa espécie em conjunto com o sistema de plantio utilizado em relação às outras espécies usadas como cobertura (Tabela 2.5).

Nas demais coberturas a biomassa obtida foi de 6.000 kg ha⁻¹. Resultado oposto foi verificado no ano de 2009, quando houve uma melhor germinação nos tratamentos, pois o método de plantio utilizado foi em covas nas entrelinhas das culturas principais do ano anterior. A produção de biomassa foi de 14.000 kg ha⁻¹ para as coberturas (Tabela 2.5).

Para as gramíneas cultivadas em conjunto com a vegetação natural, a cobertura morta obtida em março com o milho foi menor, no ano de 2008, e maior em 2009, aquelas obtidas por Chaves (1997), 10.300 kg ha⁻¹; Moraes (2001), 9.600 kg ha⁻¹. Para o sorgo tanto em 2008 e 2009 a biomassa ficou abaixo dos valores encontrados por Moraes (2001) e Oliveira (2001), 10.700 kg ha⁻¹, 15.400 kg ha⁻¹, respectivamente. Para a braquiária Oliveira (2001) obteve uma produção de 6.500 kg ha⁻¹, sendo inferiores aos obtidos em 2008 e 2009 para este ensaio (Tabela 2.5).

Em julho de 2008 e 2009 a biomassa obtida aumentou de 3.760 a 6.100 kg ha⁻¹ em média, respectivamente, nos diferentes tratamentos (Tabela 2.5). As plantas naturais foram controladas com os herbicidas pós-emergentes para a cultura do milho em 2008 e feijão-caupi em 2009.

BALBINOT JUNIOR *et al.* (2008) observou também como a vegetação natural e outras coberturas dessecadas por herbicidas antes do plantio da cultura principal proporcionam uma cobertura de solo e permitem alta produção de palha para proteção do solo, reduzindo a infestação de plantas naturais nos cultivos semeados em sucessão.

No sistema convencional, em julho de 2008 e 2009, a média de biomassa obtida foi de 3.775 kg ha⁻¹, este resultado indica uma forte competição que o milho e feijão-caupi sofreram durante o seu desenvolvimento (Tabela 2.5). O controle foi realizado com 2 capinas a enxada para manter as culturas livres das plantas naturais.

Nas coletas realizadas em novembro, a produção de biomassa nos tratamentos estudados foi de 4.710 e 2.898 kg ha⁻¹ em 2008 e 2009, respectivamente. A partir destes

resultados pode-se inferir que a cultura do milho e cobertura morta não foram suficientes para suprimir plantas naturais durante o ano produzindo assim grandes quantidades de palhada em 2008. O feijão-caupi por ser uma cultura de porte baixo e ramadora junto com a cobertura morta controlou melhor as plantas naturais em 2009.

Este resultado é corroborado por Teasdale e Mohler (2000), quando os resíduos de plantas de cobertura estão presentes sobre a superfície do solo, os resultados em termos de supressão de plantas naturais são devidos mais aos efeitos físicos desta palhada que aos efeitos aleloquímicos ou pela indisponibilidade de nutrientes.

3.1.2 SPD2

No sistema SPD2 avaliou-se o desempenho do feijão-caupi e do milho após fazer a cobertura com diferentes plantas.

A produção de matéria-seca das coberturas mortas proporcionada pelos tratamentos vegetação natural (VN), vegetação natural e sorgo (VN + S), vegetação natural e milho (VN + M) e vegetação natural mais braquiária (VN + B) não diferiram entre si em 2008, e diferiram em 2009.

A diferença na produção de biomassa entre 2008 e 2009 é atribuída a maior pluviometria ocorrida em 2009 (Figura 2.1). Na Tabela 2.6 observa-se que a produção de matéria-seca da vegetação espontânea não difere das demais coberturas. Este resultado foi o mesmo obtido no SPD1, desta forma a rotação de culturas não teve influência sobre a produção de biomassa total.

Tabela 2.6 - Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos no SPD2 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Coberturas	2008	2009	Médias	Variância
Convencional	1397,22 bB	3761,11 cA	2579,16 c	4940180,91
Vegetação espontânea (VE)	3436,11 aB	9483,33 abA	6459,72 b	5773363,56
Milho + VE	4019,44 aB	8896,66 abA	6458,05 b	6400434,30
Braquiária + VE	4541,66 aB	10994,44 aA	7768,05 a	1334424,28
Sorgo	3844,44 aB	8700,00 bA	6272,22 b	3700671,15

Estatística do teste (X^2) = 8,94; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em 2008 a produção de biomassa não apresentou diferença entre as coberturas utilizadas produzindo em média 3.447 kg ha^{-1} , o sistema convencional foi significativamente inferior produzindo 1.397 kg ha^{-1} . Para o ano de 2009 a média de biomassa total foi de 8.367 kg ha^{-1} e somente a cobertura (VN + B) produziu $10.994 \text{ kg ha}^{-1}$ de biomassa sendo este valor superior apenas em relação ao sorgo (Tabela 2.6).

Através dos dados de produção de biomassa obtidos nos meses de março, julho e novembro de 2008. Constatou-se de maneira geral que não houve significância entre as épocas de amostragem. Este resultado indica que houve uma estabilização da cobertura morta, isto é, a taxa de decomposição estava em equilíbrio com a de produção. (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Médias das produções de biomassa (kg ha^{-1}) para os tratamentos em diferentes épocas de coleta no SPD2 em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tipos de Coberturas / Ano	Março	Julho	Novembro
Convencional / 2008	400 A	2800 A	991,6 A
Convencional / 2009	400 B	5550 A	5333,3 A
Vegetação natural (VN) / 2008	4250 A	2450 A	3608,3 A
Vegetação natural (VN) / 2009	15400 A	6250 B	6800 B
Milheto + VN / 2008	5200 A	3350 A	3508,3 A
Milheto + VN / 2009	13550 A	7500 B	5640 B
Braquiária + VN / 2008	4650 A	4200 A	4775 A
Braquiária + VN / 2009	13850 A	14800 A	4333,3 B
Sorgo + VN / 2008	4450 A	3800 A	3283,3 A
Sorgo + VN / 2009	14000 A	5700 B	6400 B
Médias	7615	5640	4467,3

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em março de 2009, a produção de biomassa foi de $11.400 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo superior às demais épocas e a degradação foi progressiva até novembro. Examinando-se a medida de produção de matéria-seca em 2008 e 2009, constatou-se que de março a novembro o decréscimo atingiu 58,6% (Tabela 2.7).

A produção de biomassa das coberturas em março de 2008 foi de 3.790 kg ha^{-1} , exceto para o sistema convencional. Este baixo valor pode ser explicado pela baixa taxa de germinação ocorrida no sistema de plantio a lanço. Resultado oposto foi verificado em março de 2009 aonde a média de produção de biomassa foi de $11.440 \text{ kg ha}^{-1}$ para os tratamentos, exceto no sistema convencional aonde foi de 400 kg ha^{-1} (Tabela 2.7).

Nas avaliações da produção de biomassa realizadas em julho de 2008 e 2009 a produção de matéria-seca diminuiu atingindo 3.320 e 7.960 kg ha⁻¹ em média, respectivamente, nos diferentes tratamentos em relação à primeira coleta (Tabela 2.7).

Durante o experimento houve bom desenvolvimento das plantas de braquiária em virtude de esta espécie ter apresentado a melhor germinação em 2009 e também pela sua resistência ao herbicida de pós-emergência utilizado para seu controle. Este fato pode ter contribuído para o aumento da produção de biomassa (14.000 kg ha⁻¹). Calegari *et al.* (1993), em condição de cerrado e de pouca pluviosidade, observou também elevada produção de biomassa para a cultura da braquiária que produziu 9.900 kg ha⁻¹.

Na coleta realizada em novembro, a produção média de biomassa nos tratamentos estudados foi de aproximadamente 3.233 (2008) e 5.701 kg ha⁻¹ (2009). A partir destes resultados pode-se inferir que a cultura do milho mais as plantas naturais produziram grandes quantidades de palhada em 2009, resultados semelhantes também foram observados no SPD1.

O tratamento com braquiária apresentou a maior taxa de decomposição do material, visto que este apresentou a maior produção na coleta anterior. Estes resultados corroboram com observações feitas para SPD1 (Tabela 2.5).

De acordo com os resultados obtidos nos SPD1 e SPD2 observa-se que a cultura do milho em sucessão a vegetação natural mais braquiária favorece produções de biomassa que proporcionam uma melhor cobertura do solo. Apesar de a braquiária ser mais resistente ao herbicida utilizado neste estudo esta se mostra promissora para condições do semi-árido para formação de palha em curto espaço de tempo.

Para a cultura do feijão-caupi a vegetação natural não difere pelas quantidades de matéria-seca das outras coberturas utilizadas. Portanto não é recomendável o plantio de outras espécies deixando-se à vegetação natural.

3.2 Dinâmica da taxa de decomposição dos resíduos vegetais das culturas de milho e feijão-caupi usando “litter bag”

A sequência de decomposição pode ser dividida em três processos básicos: (a) lixiviação ou lavagem, (b) intemperismo ou ruptura física e (c) ação biológica, com a oxidação do material. Estes processos, após iniciarem em sequência, ocorrem

simultaneamente (NOVAIS, 2007). A avaliação da decomposição de resíduos orgânicos através da técnica de litter-bags contempla de forma mais eficiente às duas primeiras etapas, uma vez que a atividade biológica sobre o resíduo instalado pode se dar quando o mesmo já esteja incorporado ao solo, após a perda devido à sua fragmentação.

A dinâmica da matéria orgânica no solo com o tempo de adoção do plantio direto é lenta. Segundo Novais *et al.* (2007) nos primeiros cinco anos de adoção (fase inicial), ocorre um baixo acúmulo de palhada.

3.2.1 Dinâmica de degradação dos resíduos vegetais do milho

Na Tabela 2.8 consta um resumo da análise da variância dos dados referentes ao peso de biomassa do milho, nos litter-bags instalados no SPD1 e SPD2 em 2008 e 2009.

A biomassa do milho não diferiu significativamente entre as coberturas ($p > 0,05$), entretanto diferiu significativamente entre anos e épocas de coleta ($p \leq 0,01$) (Tabela 2.8).

Os anos e as épocas promoveram mudanças na composição da fitomassa que podem provocar alterações na taxa de decomposição dos resíduos vegetais, uma vez que esse processo é controlado por diversos atributos intrínsecos aos resíduos como, por exemplo, a relação C/N, lignina/N e polifenóis.

Tabela 2.8 - Resumo da análise de variância da degradação da biomassa do milho e feijão-caupi proveniente de diferentes coberturas mortas em 3 épocas em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios	
		Milho	Feijão
Blocos	3	26,30 ^{ns}	45,20 ^{ns}
Coberturas (A)	4	13,83 ^{ns}	491,93 ^{**}
Resíduo (a)	12	24,91	58,02
Ano (B)	1	928,93 ^{**}	3,34 ^{ns}
A x B	4	34,27 ^{ns}	1,58 [*]
Resíduo (b)	15	25,28	17,38
Época (C)	2	1478,99 ^{**}	5235,19 ^{**}
A x C	8	4,98 ^{ns}	61,79 ^{**}
B x C	2	51,28 ^{**}	1,70 ^{ns}
A x B x C	8	4,54 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Resíduo (c)	60	4,47	13,13
C.V. (a)	-	11,40	18,56
C.V. (b)	-	11,48	10,16
C.V. (c)	-	4,83	8,83

ns = não significativo; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

As interações cobertura x época e cobertura x ano x época não foram significativas ($p > 0,05$). Este resultado expressa a independência dos fatores estudados em relação à matéria-seca da cultura do milho. Este resultado explica que as plantas de milho mesmo após a trituração ainda se apresentava não homogênea que deve ter dificultado sua degradação pelos decompositores. Para interação ano x época foi detectada diferença significativa ($p \leq 0,01$) mostrando a dependência destes fatores na degradação da biomassa do milho. Com esta interação pode-se inferir que em anos que tenham diferenças edafoclimáticas como na temperatura e umidade, causarão diferenças no tempo de decomposição da matéria-seca da cultura do milho de acordo com a época do ano.

De acordo com a (Tabela 2.9) a perda de peso de resíduo que se decompôs e foi incorporado ao solo em 30 dias chegou a 53,23% em média no ano de 2008, não sendo estatisticamente diferente dos 47,37% em 2009. Aos 90 dias o peso chegou a 44,01% em 2008 e 40,70% em 2009 não se constando diferenças significativas entre estas apenas em relação à primeira época de colheita. Aos 150 dias a perda de peso apresentou diferença significativa de 42,45 e 34,63% para 2008 e 2009, respectivamente.

Tabela 2.9 - Percentagem da biomassa de resíduos remanescentes no solo após a colheita do milho aos 30, 90 e 150 dias nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.

Tratamentos	Dias após o manejo						Média	Variância
	2008 – SPD1			2009 – SPD2				
	30 dias	90 dias	150 dias	30 dias	90 dias	150 dias		
	-----%							
Convencional	54,17 a	44,26 b	44,09 b	47,37 a	38,76 b	35,98 c	44,10	44,34
Veget. natural (VN)	51,20 a	42,34 b	40,05 b	49,34 a	41,33 b	37,35 c	43,60	29,86
Milheto + VN	53,10 a	43,55 b	42,65 b	45,40 a	39,05 b	31,76 c	42,59	52,19
Braquiária + VN	54,75 a	45,27 b	44,22 b	47,81 a	42,77 b	32,84 c	44,61	55,76
Sorgo +VN	52,95 a	44,62 b	41,28 b	48,41 a	41,62 b	35,21 c	44,02	45,15
Médias	53,23	44,01	42,45	47,66	40,71	34,63		

Estatística do teste (X^2) = 2,48; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Esta diferença detectada na perda de peso aos 150 dias pode ser explicada pelo fato de que, na área dos tratamentos, quando da implantação do experimento, por este ser um plantio recente, a pouca quantidade de vegetação e, conseqüentemente de raízes, a insolação direta nas amostras, com menor umidade do resíduo e da rotação seguinte, pode ter inibido a

ação de agentes decompositores de matéria orgânica, tanto macro como micro, fazendo com que a liberação de resíduos para o solo fosse pequena no primeiro ano.

Porém, em virtude da riqueza nutricional do mesmo, a ação de organismos fragmentadores pode iniciar-se já quando da exposição deste material no ecossistema.

Para o segundo ano, com uma melhoria da umidade e temperatura (Figura 2.1), um maior crescimento das plantas de cobertura e, principalmente, da vegetação espontânea, formada principalmente por gramíneas, ocorreu um aumento na quantidade de raízes, pequenos e grandes decompositores. Esses, auxiliados pela proteção da vegetação quanto aos raios solares diretos (maior umidade nas amostras), degradaram o material das bolsas, propiciando a maior perda de peso desses resíduos no segundo ano.

Este resultado ao final do primeiro ano de estudo da degradação da biomassa da cultura do milho reflete que a falta de chuvas caracterizada pelo clima da região semi-árida não impede sua decomposição, com índices de até 52% para resíduos de milho no intervalo de 30 dias da colocação das sacolas de litter bag no campo. Porém com o decorrer do segundo ano, as perdas de resíduos para o solo se acentuaram em todas as áreas com coberturas (palhadas) e sistema convencional, desta forma o sistema de cultivo não influenciou a decomposição dos resíduos vegetais do milho e sim as condições edafoclimáticas da região e as características nutricionais do material.

Grandes quantidades de resíduos vegetais persistem durante maior período de tempo sobre a superfície do solo, especialmente no caso de resíduos resistentes à decomposição, como são as gramíneas em geral, tornando-se importantes para o sucesso do sistema de plantio direto (NOVAIS, 2007).

3.2.2 Dinâmica dos resíduos vegetais do feijão-caupi

A biomassa do feijão-caupi diferiu significativamente entre as coberturas e épocas ($p \leq 0,01$), entretanto não diferiu significativamente entre anos ($p > 0,05$) (Tabela 2.8).

A interação entre cobertura x época foi significativa ($p \leq 0,01$). Este resultado expressa a dependência dos fatores estudados em relação à biomassa da cultura do feijão-caupi. Este resultado é explicado pela associação de gramíneas como coberturas, que depois

de dessecadas sua fitomassa atua no solo como fonte de C/N para o plantio de leguminosas em sucessão e fornecimento de N à cultura em sucessão.

A interação cobertura x ano foi significativa ($p \leq 0,05$), podendo-se inferir que em anos que tenham diferenças edafoclimáticos como na temperatura e umidade, causarão diferenças no tempo de decomposição da biomassa da cultura do feijão-caupi.

As demais interações não apresentaram significância mostrando que os fatores são independentes em relação à degradação da biomassa do feijão-caupi.

De acordo com a (Tabela 2.10) a perda de peso de resíduo que se decompôs e foi incorporado ao solo aos 30 dias chegou a 50,53% em média no ano de 2008, não sendo estatisticamente diferente dos 50,24 % em 2009. Aos 90 dias o peso médio chegou a 44,42 % em 2008 e 44,50 % em 2009 se constatando diferenças significativas entre estas em relação às coberturas utilizadas e sistema convencional.

O sistema convencional apresentando uma menor quantidade de material vegetal é natural que sua degradação seja mais rápida pelos decompositores se comparado aos sistemas com coberturas. Este resultado foi oposto ao obtido pela cultura do milho, pois sua composição nutricional demanda mais tempo para ser degradada pelos decompositores.

Aos 150 dias a perda de massa atingiu 28 e 29% para 2008 e 2009 sendo estas diferenças significantes. Mesmo que a taxa de liberação dos resíduos de feijão para o solo, nas duas áreas estudadas, seja muito mais rápida do que a cultura do milho, pode-se inferir que, do ponto de vista agrônomo, há vantagens do uso do mesmo como cobertura do solo.

Tabela 2.10 - Percentagem da biomassa de resíduos remanescentes no solo após a colheita do feijão-caupi aos 30, 90 e 150 dias nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.

Tratamentos	Dias após o manejo						Médias	Variância
	2008 – SPD1			2009 – SPD2				
	30 dias	90 dias	150 dias	30 dias	90 dias	150 dias		
	-----%							
Convencional	50,45 a	39,34 b	33,56 b	50,41 a	39,81 b	33,01 b	44,10	44,34
Veget. natural (VN)	45,41 a	40,54 a	22,28 b	45,70 a	40,67 a	22,73 b	43,60	29,86
Milheto + VN	49,25 a	44,20 a	26,30 b	48,31 a	43,76 a	24,81 b	42,59	52,19
Braquiária + VN	49,68 a	45,09 a	26,27 b	48,91 a	44,92 a	24,90 b	44,61	55,76
Sorgo +VN	57,90 a	52,97 a	34,82 b	57,69 a	53,36 a	34,01 b	44,02	45,15
Médias	50,53	44,42	28,64	50,24	44,50	28,09		

Estatística do teste (X^2) = 2,47; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Médias seguidas de mesmas letras, na linha para época, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O tamanho da amostra levada a campo nos litter-bag foi de 20 x 20 cm, contendo 50 g de resíduo, que equivale a espalhar sobre o solo 12.500 kg ha⁻¹ de material. Ao final de dois anos, a média de peso geral foi 41,04 g o que equivale a 10.260 kg ha⁻¹ como média das duas áreas. Se, por um lado, este material restante ainda não se decompôs e, conseqüentemente, ainda não liberou seus nutrientes para o solo, por outro lado, permanece sobre a superfície, tendo uma importante função de proteção física contra os efeitos danosos da erosão além de ser fonte de nutrientes.

Em caso de ter grande quantidade de resíduos disponíveis na propriedade, seria recomendável o uso destes visando o aproveitamento futuro dos nutrientes contidos nos resíduos.

A introdução de leguminosas em sistemas de rotação de culturas tem importância não apenas no fornecimento de N aos cultivos subsequentes, mas também em longo prazo, por aumentar os estoques de nutrientes como N e P e contribuir com o aumento do teor de matéria orgânica do solo (NOVAIS, 2007).

3.3 Taxa de decomposição (K), meia vida ($T_{1/2}$) e relação C/N da matéria-seca do milho e feijão-caupi

O tempo de permanência dos resíduos vegetais e a dinâmica de liberação dos nutrientes são de suma importância, uma vez que o sucesso do plantio direto depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria-seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano.

3.3.1 Matéria-seca do milho, taxa de decomposição, tempo de meia vida e relação C/N

O resumo da análise da variância para os dados referentes à taxa de decomposição K e tempo de meia vida $T_{1/2}$ da matéria-seca do milho pode ser observado na (Tabela 2.11). As variáveis K e $T_{1/2}$, da matéria-seca do milho diferiram significativamente entre ano em

nível de probabilidade de 1% pelo teste F, enquanto que para as coberturas e para interação coberturas x ano não foram significativas.

A taxa de decomposição K da matéria-seca do milho (Tabela 2.12), no ano agrícola de 2008, não diferiram entre as diferentes coberturas do solo avaliados e o sistema convencional, porém em 2008 as coberturas com milho e braquiária apresentaram uma menor taxa de decomposição.

Tabela 2.11 - Resumo da análise de variância com quadrados médios para a taxa de decomposição K e tempo de meia vida $T_{1/2}$ da matéria-seca dos resíduos da cultura do milho e do feijão em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Milho		Feijão	
		K	$T_{1/2}$	K	$T_{1/2}$
Blocos	3	0.0000 ^{ns}	36,48 ^{ns}	0.0000 ^{ns}	400,42 ^{ns}
Coberturas (a)	4	0.0000 ^{ns}	66,67 ^{ns}	0.00001 ^{**}	1368,95 [*]
Resíduo (a)	12	0.00000	87,28	0.00000	314,10
Ano (b)	1	0.00002 ^{**}	5482,59 ^{**}	0,00000 ^{ns}	9,46 ^{ns}
A x B	4	0.00000 ^{ns}	201,99 ^{ns}	0,0000001 [*]	5,42 ^{ns}
Resíduo (b)	15	0.00000	187,35	0,00000	121,39
C.V. (a)	-	12,42	8,40	14,99	21,19
C.V. (b)	-	13,99	12,46	11,72	13,17

ns = não significativo; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

No ano agrícola de 2009 o valor médio de K foi de 0,0070 este resultado superior à média de 2008 que foi 0,0058. Esta diferença observada pode ser atribuída as melhores condições de temperatura, precipitação e umidade (Figura 2.1), e a colocação dos litter-bags ocorreram na época das águas em 2009.

Quanto à meia vida ($T_{1/2}$) da biomassa do milho em 2008, calculado através da taxa de decomposição, observa-se que não houve diferenças entre as coberturas utilizadas e no sistema convencional, com média de decomposição de 122 dias (Tabela 2.12). A baixa relação C/N da biomassa do milho pode ter contribuído para este resultado (Tabela 2.12). Para o ano de 2009 a média foi de 98 dias sendo detectada diferença significativa.

A menor taxa de decomposição verificada em 2009 pode ser decorrente da existência de resíduos vegetais do feijão-caupi que não se decompuseram em 2008 e que podem estar contribuindo com a redução da velocidade de decomposição. De acordo com Silva *et al.* (1997), as leguminosas tem sua taxa de decomposição alterada pelas condições ambientais e em geral se decompõem mais rápido que as gramíneas.

Tabela 2.12. Concentração de Carbono (g kg^{-1}) e Nitrogênio (g kg^{-1}) na fitomassa remanescente, relação C/N, constante de decomposição K e meia vida $T_{1/2}$ (dias) de resíduos do milho, nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.

Tratamentos	Características						
	C		N		K		$T_{1/2}$
	SPD1	SPD1	SPD1	SPD1	SPD2	SPD1	SPD2
Convencional	109,1	17,1	6,4	0,005 aA	0,006 aA	127,2 aA	102,1 aB
V.natural(VN)	102,5	14,4	6,6	0,006 aA	0,006 aA	114,2 aA	105,6 aA
Milheto + VN	111,5	18,1	6,2	0,006 aB	0,007 aA	122,2 aA	91,2 aB
Braqui. + VN	108,4	19,2	6,2	0,005 aB	0,007 aA	127,7 aA	94,1 aB
Sorgo +VN	116,2	18,3	6,6	0,006 aA	0,007 aA	118,7 aA	99,9 aA
Médias	109,0	17,7	6,3	0,0058	0,0070	122	98,58

* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha para cada característica não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

** Não foi calculado o C, N e C/N para o SPD2.

Quanto ao teor de N nos resíduos da biomassa do milho avaliados em 2008 (Tabela 2.12) pode-se perceber que ocorreu uma diminuição no seu teor para cobertura com vegetação espontânea apresentando $14,4 \text{ g kg}^{-1}$.

O comportamento do N relacionado ao seu decréscimo pode ser explicado pelo fato de que, a partir da instalação do experimento, ocorreu um maior consumo pelos decompositores, a demanda de N pela biomassa microbiana do solo e pelas culturas é elevada, notadamente nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura. Como a cobertura com vegetação natural tinha várias espécies de plantas o consumo de N foi maior.

Com o passar do tempo de adoção do sistema, ocorre um aumento no teor de matéria orgânica e na liberação de N. A disponibilidade de N no sistema de plantio direto, somente ocorre após 4 a 5 anos (NOVAIS, 2007).

Esse aumento na concentração de N, a partir do avanço da liberação (decomposição) do resíduo, deve ser analisado em função da relação C/N, uma vez que o avanço do processo de decomposição faz com que o carbono seja liberado, como componente dos resíduos perdidos e o N permaneça por maior tempo junto ao resíduo remanescente, baixando a relação C/N. (LARCHER, 2000)

A relação C/N apresentou uma tendência pouco expressiva, (Tabela 2.12) durante o transcorrer da pesquisa. Esse fato era esperado em função da maior liberação dos elementos via decomposição e sua menor fixação, em função do menor contato com os constituintes do solo (PAVINATO, 1993; MONTEIRO, 2004).

3.3.2 Matéria-seca do feijão-caupi, taxa de decomposição, tempo de meia vida e relação C/N

A taxa de decomposição (K) e a meia vida ($T_{1/2}$) da matéria-seca do feijão-caupi diferiram entre coberturas, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F. A interação cobertura x ano foi significativa a 5% de probabilidade (Tabela 2.11).

Em relação à taxa de decomposição (K) da matéria-seca do feijão-caupi (Tabela 2.13), no ano agrícola de 2008 o valor médio foi de 0,0085 e em 2009 de 0,0087 diferiram significativamente entre as coberturas. A cobertura com vegetação natural apresentou a maior taxa de decomposição (K) (Tabela 2.13).

Tabela 2.13. Concentração de Carbono (g kg^{-1}) e Nitrogênio (g kg^{-1}) na fitomassa remanescente, relação C/N, constante de decomposição K e meia vida $T_{1/2}$ (dias) de resíduos do feijão-caupi, nos anos agrícolas de 2008 e 2009, em Quixadá-CE.

Tratamentos	Características							
	C		N		C/N		K	
	$T_{1/2}$		K		C/N		$T_{1/2}$	
	SPD1	SPD1	SPD1	SPD1	SPD2	SPD1	SPD2	
Convencional	117,0	22,6	5,48	0,007 bA	0,007 bA	95,0 aA	95,8 aA	
V.natural(VN)	107,7	23,2	5,33	0,010 aA	0,010 aA	70,2 aA	69,2 aA	
Milheto + VN	115,4	18,9	6,25	0,009 abA	0,009 abA	75,2 aA	77,9 aA	
Braq. + VN	116,7	22,3	5,29	0,009 abA	0,009 abA	75,3 aA	77,9 aA	
Sorgo +VN	107,6	18,2	6,16	0,007 aA	0,007 bA	99,6 aA	99,4 aA	
Médias	112,9	21,0	5,7	0,0087	0,0085	83,17	84,09	

* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha para cada característica não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

** Não foi calculado o C, N e C/N para o SPD2.

O tempo de meia vida $T_{1/2}$ da biomassa do feijão-caupi, calculado através da constante de decomposição, não diferiu significativamente entre as coberturas, sendo a média de 84 e 83 dias para os anos de 2008 e 2009, respectivamente (Tabela 11). A cultura do feijão-caupi apresenta um ciclo menor e uma baixa relação C/N, portanto sua degradação começa ainda no período chuvoso (Figura 2.1), o que favorece uma degradação rápida.

Estes resultados são opostos aos obtidos por Cadavid *et al.* (1998), que trabalharam com sistema de plantio direto e observando que o tempo de decomposição de 50% da biomassa remanescente $T_{1/2}$ em dias, diferiu estatisticamente entre sistemas convencionais e de plantio direto. O plantio direto apresentou menor valor de $T_{1/2}$ quando comparado ao convencional. Alves *et al.*(1995) relataram que o plantio direto favoreceu a adição da palhada e que contribuiu para o aumento e manutenção do conteúdo de água no solo

com formação de microclima úmido, servindo de reservatório de água para as plantas em crescimento, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos benéficos e diminuindo o surgimento de ervas daninhas.

Quanto ao valor nutricional dos resíduos da biomassa do feijão-caupi, percebe-se que as parcelas com milho e sorgo apresentaram valores abaixo dos demais tratamentos. Situação semelhante ocorreu com a cultura do milho, para o tratamento com vegetação natural, onde houve maior consumo de N pela biomassa microbiana do solo e pelas culturas.

3.4 Produtividade de milho e feijão-caupi no sistema de plantio direto após o manejo das plantas de cobertura

3.4.1 Cultura do Milho

O resumo das análises das variâncias com quadrados médios e teste de médias para número de espigas por fileira, altura de plantas e produtividade de grãos podem ser observados na (Tabela 2.14 e 2.15). Para o número de espigas por fileira, altura de planta e produtividade, somente houve efeito significativo para o ano.

Tabela 2.14 - Análise de variância com quadrados médios para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade (kg ha^{-1}) na cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Nº espigas/fileira***	Altura/planta	Produtividade de grãos
Blocos	3	182,69 ^{ns}	0,05 ^{ns}	23932,48 ^{ns}
Coberturas (A)	4	142,65 ^{ns}	0,08 ^{ns}	39743,16 ^{ns}
Resíduo (a)	12	91,90	0,02	230707,57
Ano (B)	1	47679,02 ^{**}	0,16 [*]	51651200,63 ^{**}
A x B	4	124,27 ^{ns}	0,06 ^{ns}	740855,28 ^{ns}
Resíduo (b)	15	119,09	0,03	384700,91
C.V. (a)	-	12,70	8,81	8,40
C.V. (b)	-	14,45	9,67	12,46

ns = não significativo; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

*** fileiras de 10m de comprimento

Tabela 2.15 - Médias e variâncias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade (kg ha⁻¹) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tratamentos	Nº espigas/fileira*		Altura (m)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância
Convencional	74,75	1481,92	2,06	0,08	4286,01	610961,40
Veget. esp. (VE)	75,12	1314,69	1,78	0,09	4269,19	2294018,35
Milheto + VE	69,25	1148,50	1,89	0,03	4117,52	2084105,80
Braquiária + VE	77,50	1641,42	1,93	0,01	4164,91	2539328,19
Sorgo +VE	80,75	1786,78	1,92	0,02	4206,18	1503789,65

Estatística do teste para altura (X^2) = 9,01; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Estatística do teste para espigas (X^2) = 0,40; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Estatística do teste para produção (X^2) = 3,60; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* fileira de 10m de comprimento

As coberturas utilizadas influenciaram a altura de planta e o número espigas por fileiras. O sistema de preparo convencional favoreceu o desenvolvimento vegetativo da planta, já que em 2008 e 2009 proporcionou maior altura de plantas (Tabela 2.16). A altura de planta foi influenciada pelo ano agrícola apenas para o sistema plantio direto que em 2009 apresentou um maior valor, porém o número de espigas por fileiras diferiu entre anos agrícolas e não entre sistemas de preparo. Estes resultados podem ser explicados por melhores condições ambientais de 2009 (Figura 2.1).

Os resultados estão de acordo com Pavinato (1993) que ressalta que em condições de elevada disponibilidade hídrica a cultura do milho particiona mais fotossíntese para o crescimento vegetativo, podendo ocorrer atraso na floração e frutificação.

Estes resultados também são condizentes com informações de TOZETTI (2004) que obtiveram maior altura e número de espigas por planta utilizando diferentes níveis de fertilidade do solo em diferentes progênies de milho.

Os componentes da produção não foram afetados significativamente pelas coberturas no ano agrícolas de 2008 e 2009. No entanto, em 2009 em que a cultura antecessora foi o feijão-caupi, a produtividade de grãos foi 32% superior ao ano anterior (Tabela 2.16). As leguminosas, de modo geral, possuem capacidade de fixar N atmosférico em simbiose com *Rhizobium* e baixa relação C/N, o que favorece a rápida decomposição e liberação desse nutriente para a cultura sucedânea (CERETTA *et al.*, 1994).

Deve-se considerar que a adição de material orgânico mediante a adubação verde proporciona modificações gerais nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (De-Polli e Chada, 1989). Esse fato pode explicar em parte maior produtividade de milho, proporcionado em 2009, em relação a 2008.

Tabela 2.16 - Médias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade (kg ha⁻¹) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tratamentos	Nº espigas/fileira**		Altura (m)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Convencional	41,25 aB	108,25 abA	2,08 aA	2,05 aA	3633,15 aB	4938,85 aA
Veget. esp. (VE)	41,50 aB	108,75 abA	1,57 bB	1,98 aA	2926,97 aB	5611,41 aA
Milheto + VE	40,25 aB	98,25 bA	1,81 abA	1,98 aA	2861,41 aB	5373,64 aA
Braquiária + VE	40,25 aB	114,75 abA	1,87 abA	1,99 aA	2765,96 aB	5563,85 aA
Sorgo +VE	41,50 aB	120,00 aA	1,94 abA	1,91 aA	3174,59 aB	5237,77 aA
Sistema de manejo						
Convencional	41,25 aB	108,25 aA	2,08 aA	2,05 aA	3633,15 aB	4938,85 bA
Plantio direto	40,87 aB	110,43 aA	1,79 bA	1,96 aB	2932,18 bB	5446,66 aA

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical para cada característica avaliada, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de $p \leq 0,05$.

** fileira de 10 m de comprimento

A produtividade média da cultura do milho para o estado do Ceará em 2008 e 2009 foi de 694 e 689 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2011). A partir dos dados da Tabela 13 percebe-se que ambos os sistemas utilizados foram superiores as médias do estado. Para o ano de 2009 o sistema de plantio direto produziu 9% a mais que o sistema convencional, desta forma percebe-se que o milho beneficiou-se da cobertura verde.

O manejo das plantas de cobertura nas parcelas de milho pode influenciar de forma diferenciada na produtividade dos grãos. Sá (1993) plantas de cobertura em sucessão com outra gramínea necessitam de suplementação nitrogenada em menor dose para manterem suas produtividades. Neste estudo observou-se que as coberturas utilizadas braquiária, milheto e sorgo não diferiram significativamente da produtividade alcançada na área do sistema convencional e da vegetação natural.

3.4.2 Cultura do Feijão-caupi

O resumo das análises das variâncias com quadrados médios e teste de médias para os dados de número de vagens por planta, peso de mil sementes e produtividade de grãos podem ser observados nas (Tabela 2.17) e (Tabela 2.18). Para o número de vagens por planta não foi observada significância pelo teste F, enquanto o peso de mil sementes teve influência

do ano. Para a produtividade de grãos houve significância para as coberturas para anos (Tabela 2.17).

Tabela 2.17 - Análise de variância com quadrados médios para o número de vagens por planta, peso de mil sementes (g) e produtividade (kg ha⁻¹) na cultura do feijão-caupi em Quixadá-CE, 2008 e 2009

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Nº Vagens	Peso mil sementes	Produtividade de grãos
Blocos	3	284,00 ^{ns}	0,14 [*]	18531,67 ^{ns}
Coberturas (a)	4	119,71 ^{ns}	0,08 ^{ns}	49461,75 [*]
Resíduo (a)	12	159,14	0,03	14991,94
Ano (b)	1	28,90 ^{ns}	60,87 ^{**}	65228,06 ^{**}
A x B	4	32,96 ^{ns}	0,08 ^{ns}	9882,28 ^{ns}
Resíduo (b)	15	304,81	0,04	8882,89
C.V. (a)	-	23,53	0,96	21,83
C.V. (b)	-	32,57	1,19	16,80

ns = não significativo; * = significativo (p ≤ 0,05); ** = significativo (p ≤ 0,01).

Tabela 2.18 - Médias e variâncias para o número de espigas por fileira, altura de plantas (m) e produtividade (kg ha⁻¹) para a cultura do milho em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tratamentos	Espigas por fileira		Altura (m)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância
Convencional	74,75	1481,92	2,06	0,08	4286,01	610961,40
Veget. esp. (VE)	75,12	1314,69	1,78	0,09	4269,19	2294018,35
Milheto + VE	69,25	1148,50	1,89	0,03	4117,52	2084105,80
Braquiária + VE	77,50	1641,42	1,93	0,01	4164,91	2539328,19
Sorgo +VE	80,75	1786,78	1,92	0,02	4206,18	1503789,65

Estatística do teste para altura (X^2) = 9,01; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Estatística do teste para espigas (X^2) = 0,40; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

Estatística do teste para produção (X^2) = 3,60; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

As coberturas utilizadas influenciaram as vagens por planta e a produtividade. O sistema de preparo convencional reduziu o número de vagens por planta no ano de 2009 produzindo-se em média 54 vagens em relação ao plantio direto que produziu 68 vagens (Tabela 2.19). O número de vagens foi influenciado pelo ano agrícola apenas para o sistema plantio direto, apresentando em 2009 um maior valor. Para o peso de mil sementes ocorreu diferenças significativas entre anos (Tabela 2.19). Estes resultados podem ser explicados por melhores condições ambientais de 2009 (Figura 2.1).

Os resultados inferiores para o número de vagens e peso de mil sementes em 2008 podem ser explicados pela competição com plantas daninhas, pois durante a instalação do SPD2 a germinação das plantas de coberturas foi baixa em relação ao SPD1. A palhada formada não foi suficiente para impedir a germinação das plantas daninhas durante o ciclo do

feijão-caupi, permitindo o aparecimento de uma grande variedade de espécies invasoras, tornando o herbicida seletivo ineficiente no controle das plantas daninhas.

A comparação das médias da produtividade de grãos nos anos de 2008 e 2009 pode ser observada na (Tabela 2.19). Para o peso de mil sementes existe uma tendência de com a produtividade, ou seja, quanto maior o peso das sementes maior foi à produtividade. Este resultado pode ser observado na (Tabela 2.19) em que as médias de 2009 foram superiores e estatisticamente diferente em relação a 2008.

A produtividade entre os anos aumentou 13% independente do sistema de plantio, porém a produtividade do feijão-caupi foi prejudicada pela utilização das coberturas mortas. A queda da produtividade com o uso do sistema de plantio direto pode ter sido pelo maior aporte de matéria-seca produzida por este e, conseqüentemente, ocasionou a imobilização dos nutrientes.

No SPD2 em 2008 e no SPD1 em 2009 a produtividade média da cultura do feijão-caupi foi 495 e 559 kg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com dados da (CONAB, 2011) as produtividades médias do feijão-caupi para o estado do Ceará foram em 2008 e 2009 foram 592 e 589 kg ha⁻¹, respectivamente. No sistema convencional as produções foram superiores as médias do estado do Ceará, desta forma pode-se inferir que existem adaptações a serem feitas no SPD1 e SPD2 a fim de melhorar sua eficiência para produção de grãos.

Tabela 2.19 - Médias de produtividade (kg ha⁻¹), peso de mil sementes (g) e vagens por planta para a cultura do feijão-caupi em Quixadá-CE, 2008 e 2009.

Tratamentos	Vagens por planta		Mil sementes (g)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Convencional	55,75 A	54,25 A	17,05 B	19,35 A	619,09 B	770,13 A
Veget. esp. (VE)	47,00 A	47,50 A	16,80 B	19,31 A	490,97 A	506,94 A
Milheto + VE	58,25 A	56,00 A	16,55 B	19,35 A	489,58 A	543,05 A
Braquiária + VE	53,50 A	58,00 A	16,94 B	19,36 A	554,16 A	576,38 A
Sorgo +VE	49,25 A	56,50 A	17,01 B	19,32 A	448,61 B	609,72 A
Sistema de manejo						
Convencional	55,75 A	54,25 A	17,05 B	19,35 A	619,09 B	770,13 A
Plantio direto	52,00 B	68,06 A	16,82 B	19,33 A	495,83 B	559,02 A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal, para cada característica não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de p≤0,05.

A partir dos dados de feijão-caupi observa-se que o sistema de plantio direto favoreceu em termos de produtividade.

Resultados opostos foram publicados por Gomes Júnior *et al.* (2008), que trabalhando com várias cultivares de feijão, não encontraram diferenças para a produtividade de sementes, quando o cultivo foi efetuado sobre palhada de milho e braquiária e sistema convencional.

Semelhantemente MULLINS *et al.* (1980) e ZAFFARONI *et al.* (1991) não verificaram diferenças no rendimento de grãos de feijão cultivados nos sistemas plantio direto e plantio convencional. Por sua vez, SAMPAIO *et al.* (1989) e SIQUEIRA (1989) observaram maior rendimento de grãos no sistema de convencional, enquanto que SKARPHOL e COREY (1987), em ano de menor ocorrência de chuvas e URCHEI (1996), utilizando irrigação verificaram maior rendimento de grãos para o sistema plantio direto.

4 CONCLUSÕES

- A vegetação natural pode ser uma alternativa como cobertura morta no plantio direto no semiárido.

- Os sistemas de cultivos, convencional e plantio direto não influenciaram a degradação da biomassa no semiárido.

- A taxa de decomposição da biomassa do feijão-caupi e do milho nas condições semiáridas do sertão Central do Ceará, atingiram 50% com 60 dias após colheita.

- O sistema convencional de preparo do solo propiciou maior produtividade do milho em ano com ocorrência de precipitação acima da média da região do Sertão Central do Ceará.

- As seqüências de rotação do plantio do milho e feijão-caupi utilizadas nos sistemas SPD1 e SPD2, não alteraram a produção dessas culturas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGAS, F. S. Manejo integrado de plantas daninhas. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Pato Branco. **Resumo de palestras**. Passo Fundo: Ed. Aldeia Norte, p. 17-26. 1997.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; ROS, C.O. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciências do Solo**. v. 25, p. 157-165, 2001.
- ALVES, A. G. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.19, n.1 p.127-132, 1995.
- ASSIS, E. P. M.; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 33, n. 2, p. 107-112, 2003.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. VEIGA, M. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 26, n. 3, p. 569-576, 2008.
- BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia-preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**. v.24, p.449-457, 2000.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.14, n. 1, p.91-98, 1990.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro: MAPA/SUDENE, 1973. v. 1, p. 301 (Boletim Técnico, 28).
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p.87-98, 2006.

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JACINTO JUNIOR, L. **Plantio direto e rotação de culturas: experiência em Latossolo roxo/1985-1992**. Curitiba, COCAMAR/ZENECA Agrícola, 1992. 64p

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da; CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ASPTA, 1993. p. 1-56.

CADAVID, L. F.; EL-SHARKAWY, M. A.; ACOSTA, A.; SANCHES, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. **Field Crops Research**. v.57, p.45-56, 1998.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A.; SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistema de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.215-220, 1994.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. M. G. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p.723-729, 2007.

CHAVES, C. A. dos S. **Produção e valor nutritivo das silagens de capim Sudão (*Shorgum sudanense* (Piper) Stapf), milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), teosinto (*Euchlaena mexicana* Scharad) e milho (*Zea mays* L.)**.1997, 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras-Mg, 1997.

DE-POLLI, H.; CHADA, S. de S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.287-293, 1989.

DINIZ, A. J. **Desempenho de cultivares de milho (*Zea mays* L.) em áreas de plantio convencional e direto, sob diferentes densidades de semeadura**. 1999. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1999.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Sistema de Produção de Informação – SPI. 1999. 412 p.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Guia de cultivares**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/produtos/produtos/br205.html>>. Acesso em 20 jun. 2009.

FORSYTHE, W. M. **Física del suelos: Manual de laboratorio**. San José, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975, 212 p.

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 bananeiras. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, p. 321-328, 2006.

FIALHO, J. F.; BORGES, A. C.; BARROS, N. F. Cobertura vegetal e as características químicas e físicas e a atividade da microbiota de um latossolo vermelho-amarelo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n. 1, p.21-28, 1991.

GOMES JÚNIOR, F. G.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto sobre gramíneas. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 387-395, 2008

HOLTZ, G. P. **Dinâmica da decomposição da palhada e a distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí/PR**.1995. 129 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p

LAL, R. Modification of soil fertility characteristics by management of soil physical properties. In. LAL, R.; GREENLAND, D.I. (Eds) **Soil physical properties and crop production in the tropics**. New York: J. Wiley, 1979. p. 397-405.

LANA, M. A. **Uso de culturas de cobertura no manejo de comunidades de plantas espontâneas como estratégia agroecológica para o redesenho de agroecossistemas**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496 p.

MONTEIRO, K. F. G. **Utilização de madeira como cobertura no solo: estudo de caso de um sistema agroflorestal no Estado do Pará**. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004.

MOORE, A. M. Temperature and moisture dependence of decomposition rates of hard-wood and coniferous leaf litter. **Soil Biology Chemical**, Oxford, v. 18, p. 427-435, 1986.

MORAES, R. N. S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001, 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras/MG, 2001.

MULLINS, C. A.; TOMPKINS, F. D.; PARKS, W. L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution, plant nutrient absorption, stand, and yield of snap beans and lima beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.105, p.591-593, 1980

MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: **Plantio direto no estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1981. p.11-70

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. – Viçosa, MG; **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, 2007, 1017 p.

OLIVEIRA, T. K. **Plantas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado e seus efeitos no feijoeiro e no solo em plantio direto**. 2001, 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras-MG, 2001.

PAIVA, J. B, TEÓFILO; E. M, SANTOS; J. H. R, LIMA; J. A. A. **Setentão: novo cultivar de feijão-de-corda para o Estado do Ceará**, Fortaleza, 1988. (Folheto informativo)

PAVINATO, A. **Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de culturas**. 1993. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

REICOSKY, D. C.; FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. **Journal Soil Water Conservation**, v.53, p.224-229, 1998.

REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. e BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 54, n.2, p. 99-112, 1999.

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 de fertilidade do solo em plantio direto**. Fundação ABC, Carambeí, Castro/PR, 1993, 96 p.

SAMPAIO, G. V.; GALVÃO, J. D.; FONTES, L. A. N.; FIGUEIREDO, M. de S.; CARDOSO, A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 36, p. 465-482, 1989.

SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan ecosystem. **Ecology**, v. 62, n.3, p. 654-663, 1981.

SCHUNKE, R. M. **Qualidade, decomposição e liberação de nutrientes da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum***. 1998. 88 f. Tese (Doutorado em Solos), UFRRJ, Seropédica-RJ, 1998.

SILVA, M. L. N.; BLANCABEAUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M.; Rotação adubo verde – milho e adsorção de fosforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 32, n. 6, p. 649-654, jun. 1997.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p

SILVA, F. DE A. S. E. AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78, 2002.

SIQUEIRA, N. de S. **Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. Dissertação de Mestrado. 106 p. Viçosa: UFV, 1989.

SKARPHOL, B. J.; COREY, K. A. Response of snap beans to tillage and cover crop combinations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.112, p. 936-941, 1987

STEINMAUS, S.; ELMORE, C. L.; SMITH, R. J.; DONALDSON, D.; WEBER, E. A.; RONCORONI, J. A.; MILLER, P. R. M. Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. **Weed Research**, v. 48, n. 3, p. 273-281, 2008.

TEASDALE, J. R.; MANGUM, R. W.; RADHAKRISHNAN, J.; CAVIGELLI, M. A. Weed Seed bank Dynamics in Three Organic Farming Crop Rotations. **Agronomy Journal**, v.96, n. 5, p.1429-1435, set-out, 2004.

THOMAS, R.J. ; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology Biochemistry**, v. 25, p. 1351-1361, 1993.

TOZETTI, A. D.; BILLIA, R. C.; SILVA, C.; CERVIGNI, G.; GOMES, O. M. T. Avaliação de progênies de milho na presença e ausência de adubo. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 5, 2004.

URCHEI, M. A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação.** Botucatu: UNESP, Tese de Doutorado. 150 p.1996.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará.** Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

ZAFFARONI, E. ; BARROS, H. H. de A; NÓBREGA, J. A. M.; LACERDA, J. T. de; SOUZA JUNIOR, V. E. de. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n.1, p. 99-104, 1991.

CAPÍTULO 3

Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Amarelo manejado com dois sistemas de rotação de culturas no plantio direto

RESUMO

A rentabilidade no campo está relacionada à manutenção da estrutura do solo e sua fertilidade ao longo dos anos. Algumas características do solo como densidade, porosidade e reservas de matéria orgânica são importantes na formação de agregados e estrutura do solo. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Lavoura Seca, Quixadá, Ceará, Brasil, localizada na região semiárida, com o objetivo avaliar o comportamento das coberturas vegetais proporcionadas pela vegetação natural; milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench); e a formada no cultivo convencional (testemunha) em dois sistemas de plantio direto SPD1 (rotação do milho em sucessão ao feijão-caupi) e SPD2 (rotação do feijão-caupi em sucessão ao milho). As características do solo avaliadas foram densidade, densidade de partículas, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e umidade na profundidade de 0 a 20 cm. As coberturas mortas testadas aumentaram a densidade do solo, reduziram a macroporosidade e porosidade total e não afetaram a microporosidade.

Palavras-chave: Sistemas de cultivos. Densidade do solo. Porosidade do solo.

Soil physics characteristics from Red Yellow Argissol submitted to two minimum tillage crop rotation systems.

ABSTRACT

The farm profit is related with the conservation of the fertility and structure of the soil through the years. Soil physics characteristics as density; porosity and organic matter are important for the formation of aggregates and soil structure. This work was conducted at the semiarid conditions of Dry Farm Experimental Station, located at Quixada county, Ceará, Brazil, with the objective to evaluate the behavior different types of straw originated from natural vegetation, millet (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*), brachiaria grass (*Brachiaria brizantha*); forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and conventional tillage, under two minimum tillage systems SPD1 (rotation of corn following cowpea) and SPD2 (rotation of cowpea following corn). The soil characteristics evaluated were density, particle density, total porosity, micro and macro porosity and humidity at a depth of zero to 20 cm. Under the straws tested the soil density increased, the macro and total porosity decreased and the micro porosity was not changed.

Keywords: Tillage systems. soil's density. soil's porosity.

1. INTRODUÇÃO

Agricultura é dependente do solo, uma vez que se trata de um recurso não renovável, de cuja conservação o homem é responsável. Faz-se necessário a utilização de práticas de manejo que propiciem condições adequadas ao desenvolvimento e à produtividade das culturas (OADES, 1984).

Os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas como permeabilidade, estrutura, densidade e espaços porosos agronomicamente desejáveis. Entretanto, à medida que são trabalhados mecanicamente, fora do teor ideal de umidade, ocorrem consideráveis alterações físicas (SILVA, 2004).

A retirada da cobertura vegetal seguida do cultivo convencional dos solos aceleram a decomposição da matéria orgânica, provocando a compactação e a pulverização dos agregados na camada superficial, tornando-os muito suscetíveis à erosão (PELÁ, 2002).

O estudo da relação entre o uso do solo e a modificação de seus atributos é um importante instrumento na análise de produtividade e da conseqüente escolha das técnicas de manejo a serem adotadas em uma determinada área.

Do ponto de vista agrícola, para a estrutura do solo são atribuídas propriedades fundamentais nas relações solo-planta. Novais *et al.* (2007) destaca que a estrutura é alterada por mudanças no clima, da atividade biológica e por práticas de manejo do solo, sendo ainda vulnerável a forças de natureza mecânica e físico-química.

A implantação de sistemas de manejo que promovam o mínimo de alterações no solo, mantendo os restos culturais na superfície deste, propiciando maior proteção do solo devido ao contínuo aporte de resíduos orgânicos e favorecendo a manutenção da agregação, uma vez que não ocorre a destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo de solo (NOVAIS *et al.*, 2007).

A compactação do solo é o processo de decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, seja por máquinas agrícolas, equipamentos ou animais (LIMA, 2004). Segundo Beutler *et al.* (2002), a compactação reflete-se no aumento da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e da microporosidade, com redução da porosidade total e da macroporosidade. Startsev e McNabb (2001) acrescentam que a compactação reduz a infiltração de água, intensificando a erosão e o assoreamento dos mananciais de água.

Segundo Novais *et al.* (2007) quando os restos culturais são mantidos como cobertura do solo, normalmente a densidade do solo e a microporosidade aumentam nas camadas superficiais, sendo isto atribuído ao não revolvimento do solo. As raízes das plantas estimulam a agregação do solo com o suprimento dos resíduos orgânicos liberados quando da decomposição do seu sistema radicular (OADES, 1984).

Silva e Rosolem (2001) avaliando o crescimento radicular, produção da matéria seca da parte aérea e das raízes de coberturas com aveia preta, guandu, milho, mucuna preta, sorgo e tremoço azul em semeadura direta, observaram que em solo arenoso a densidade crítica para desenvolvimento destas plantas é superior a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ e que o milho foi a cobertura que produziu mais matéria seca em solos com compactação sub superficial. Ainda neste estudo, o guandu e o tremoço azul foram os que apresentaram os piores desempenhos em relação às propriedades do solo.

Beutler (1999) estudando alguns parâmetros físicos em diferentes sistemas de manejo de solo no Cerrado, observou que no plantio direto o diâmetro médio dos agregados foi 1,86 vez superior ao observado no plantio convencional, na profundidade de 0 a 5 cm, sendo o teor de matéria orgânica também mais elevado nesta profundidade. Secco *et al.* (1997), em um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso, encontrou uma porosidade total de 0,53 e $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, macroporosidade de 0,20 e $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e microporosidade de 0,32 e $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para plantio direto e sistema convencional, respectivamente, na profundidade de 0 a 7 cm.

Andreola *et al.* (2000) avaliando a influencia do cultivo da aveia preta e nabo forrageiro nas propriedades físicas, associados à adubação orgânica, mineral, orgânica + mineral e com esterco de aves, observaram que a prática da adubação reduziu a estabilidade dos agregados maiores que 4,76 mm e aumentou nas classes de diâmetro menor 4,76 a 2,00 e 2,00 a 1,00 mm, na camada de solo 0 a 10 cm. Foi observado que o adubo orgânico promoveu o aumento da macroporosidade e diminuiu a densidade do solo, enquanto que a adubação orgânica + mineral reduziu a macroporosidade e aumentou a microporosidade e a densidade do solo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de quatro tipos de coberturas vegetais usados num sistema de plantio direto e plantio convencional nas propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Quixadá - Ceará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e descrição do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Lavoura Seca, Quixadá, Ceará, pertencente à Universidade Federal do Ceará, nos anos de 2008 e 2009.

O município de Quixadá está localizado geograficamente na microrregião do Sertão Central do estado do Ceará, com coordenadas S:4° 59' e W:39° 01', altitude de 190 m (BRASIL, 1973).

O clima da região é classificado conforme Köppen como semi-árido do tipo BsH, quente e seco. O município apresenta precipitação pluviométrica média de 873,3 mm, temperatura média anual de 26,7°C, e umidade relativa do ar de 70% (BRASIL, 1973).

As médias mensais de temperatura e precipitação pluviométrica, dos anos 2008 e 2009 (Figura 2.1) foram obtidas no acervo da Estação meteorológica da Fazenda Lavoura Seca.

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do experimento foram retiradas, da área experimental, amostras de solo coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm para determinação das características físicas e químicas, realizadas no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, conforme consta na (Tabela 2.1).

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 5 tratamentos.

As diferentes coberturas foram distribuídas em 2 áreas distintas, denominadas SPD 1 e SPD 2, onde em 2008, plantou-se milho, híbrido BR205 e feijão-caupi, cv. Setentão. Em 2009, foram usadas as mesmas cobertura de 2008, porém, na área que recebeu milho no

ano anterior plantou-se o feijão-caupi e na área plantada com feijão-caupi plantou-se milho, num sistema de rotação.

Os demais procedimentos de controle de plantas naturais, preparo da área, plantio e adubação constam no Capítulo 1.

2.3. Amostragens e determinações analíticas das características físicas do solo

As características físicas do solo, densidade, densidade de partícula, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram avaliadas segundo amostras de solo coletadas na profundidade de 0,0 a 0,2 m. As amostras coletadas uma semana após o plantio do milho e feijão-caupi. Para cada tratamento foi coletada uma amostra por repetição com o amostrador de Uhland (FORSYTHE, 1975) em pontos aleatórios dentro da área útil da parcela.

2.3.1. Densidade do solo e densidade de partículas

A densidade do solo (ρ_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico e calculada pela equação (1). A densidade de partículas (ρ_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico e calculada pela equação (2), (EMBRAPA, 1997).

$$\rho_s = M / V_C \quad (1)$$

$$\rho_p = M / V_s \quad (2)$$

Em que:

ρ_s é a densidade do solo, g cm⁻³,

ρ_p é a densidade de partícula, g cm⁻³,

M é a massa do solo seco, g,

V_C é o volume do anel volumétrico, cm⁻³,

V_s é o volume do solo, cm^{-3} .

2.3.2. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura indeformada, previamente saturadas por 24 horas, utilizando uma unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna de água. A porosidade total é o resultado, considerando-se todos os poros existentes no solo, macros e micros e foi obtida pela equação (3). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997), equação (4).

$$P = 1 - \rho_s / \rho_p \quad (3)$$

$$Ma = P - Mi \quad (4)$$

Em que:

P é a porosidade total, em %,

ρ_s é a densidade do solo, g cm^{-3} ,

ρ_p é a densidade de partícula, g cm^{-3} ,

Ma é a macroporosidade, em %,

Mi é a microporosidade, em %.

2.3.3. Resistência à penetração

A resistência do solo a penetração foi medida com penetrômetro de impacto. As leituras com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar (STOLF *et al.*, 1983), foram feitas em dois pontos opostos aos locais de coleta dos anéis volumétricos, totalizando oito amostras em cada parcela. Os cálculos da resistência foram realizados segundo Stolf (1991).

A umidade do solo foi determinada por gravimetria nas camadas de 0,0 a 0,2 m. Para cada camada foram realizadas duas amostragens da umidade do solo e cada faixa de profundidade que são apresentadas na (Figura 3.3).

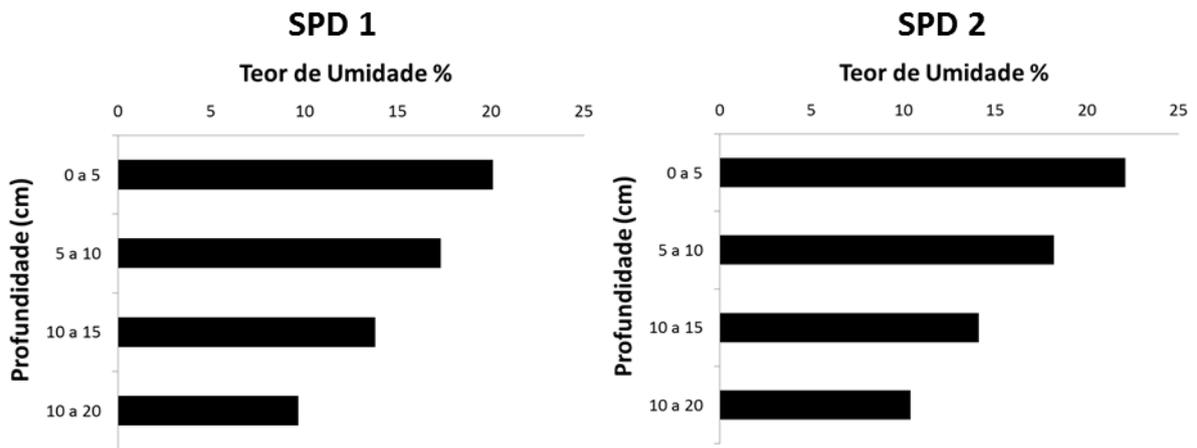


Figura 3.3 - Teores médios de Umidade (%) em cada faixa de profundidade no SPD 1 e SPD 2, em 2008 e 2009. Quixadá-CE.

2.4. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelos testes de Bartlett e através do software Assistência Estatística 7.5 (SILVA, 2006).

A análise de variância foi realizada em parcela subdividida de acordo com a significância dos fatores densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do teste F e foram feitas comparações de médias dos tratamentos. Nestas comparações utilizou-se o teste Tukey ($p < 0,05$), segundo (SILVA, 2002)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo foi feito sobre as variáveis físicas do solo: densidade do solo (DS), densidade de partícula (DP), porosidade total (PT), microporosidade (MI) e macroporosidade (MA).

Deve-se ressaltar que a apresentação destes resultados constitui na caracterização inicial dos experimentos do SPD1 e SPD 2, uma vez que não se esperaria que os efeitos dos tratamentos fossem pronunciados, devido ao curto período de tempo transcorrido desde sua instalação.

Para o SPD 1 os atributos DS, DP, PT, MI e MA não diferiram significativamente quando analisados entre as coberturas ($p > 0,05$). Porém entre anos todos os atributos diferiram significativamente entre anos ($p \leq 0,01$) (Tabela 3.20).

Tabela 3.20 - Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 1 em Quixadá-CE.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		DS	DP	PT	MI	MA
Blocos	3	0,00252 ^{ns}	0,01327 [*]	18,81 ^{ns}	5,61 ^{ns}	3,91 ^{ns}
Coberturas (A)	4	0,00529 ^{ns}	0,00427 ^{ns}	15,92 ^{ns}	4,95 ^{ns}	3,15 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,00258	0,0032	9,60	2,76	2,09
Anos (B)	1	0,07529 ^{**}	0,14237 ^{**}	868,064 ^{**}	250,80 ^{**}	185,67 ^{**}
A x B	4	0,01384 ^{ns}	0,00826 ^{ns}	26,43 ^{ns}	8,61 ^{ns}	4,92 ^{ns}
Resíduo (b)	15	0,04858	0,00437	12,032	3,49	2,59
Média	-	1,57	1,96	19,65	9,67	9,97
C.V. (a)	-	3,23	2,49	15,77	17,19	14,49
C.V. (b)	-	3,63	3,37	17,65	19,32	16,15

DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; MI = microporosidade; MA = macroporosidade; ns = não significativo; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

Para o SPD 2 a DS não diferiu significativamente quando analisada entre as coberturas e anos ($p > 0,05$). Para DP, PT, MI e MA foram detectadas diferenças significativas com coberturas ($p \leq 0,05$) e houve diferença significativa entre anos agrícolas ($p \leq 0,01$) (Tabela 3.21).

Tabela 3.21 - Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 2 em Quixadá-CE.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		DS	DP	PT	MI	MA
Blocos	3	0,00345 ^{ns}	0,003742 ^{**}	23,49 ^{**}	9,25 ^{**}	3,29 [*]
Coberturas (A)	4	0,00480 ^{ns}	0,01006 [*]	11,12 [*]	3,70 [*]	2,05 [*]
Resíduo (a)	12	0,00312	0,00222	2,33	0,61	0,57
Anos (B)	1	0,00331 ^{ns}	0,24520 ^{**}	395,925 ^{**}	137,21 ^{**}	66,97 ^{**}
A x B	4	0,00357 ^{ns}	0,00245 ^{ns}	2,360 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Resíduo (b)	15	0,00079	0,00144	0,99	0,33	0,20
Média	-	1,55	2,11	26,50	13,50	13,00
C.V. (a)	-	3,59	2,22	5,76	5,86	5,83
C.V. (b)	-	1,80	1,79	3,76	4,26	3,49

DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; MI = microporosidade; MA = macroporosidade; ns = não significativo; * = significativo ($p \leq 0,05$); ** = significativo ($p \leq 0,01$).

3.1 Densidade do solo e densidade de partículas

3.1.1 Para o SPD 1

Os atributos densidade do solo (DS) e densidade de partícula (DP) não diferiram entre anos. Este fato pode estar associado ao curto período de avaliação, correspondente a dois anos.

A DS não diferiu significativamente ($p > 0,05$) entre as coberturas e o plantio direto. As médias obtidas das densidades do solo (Tabela 3.22) comprovam que as parcelas experimentais apresentavam-se homogêneas em suas condições iniciais.

No sistema convencional a média da DS foi de $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ para os dois anos, um resultado semelhante foi obtido por Tormena *et al.* (2004). Esses valores se devem ao revolvimento do solo com grade de disco à profundidade de 0,20 m, realizado no sistema de cultivo convencional, o que não aconteceu sob sistema de plantio direto, ao se revolver o solo apenas na linha de semeadura.

Os valores de DS (Tabela 3.22) para as coberturas utilizadas em 2008 variaram entre $1,48$ a $1,57 \text{ g cm}^{-3}$. Este resultado reflete que os resíduos das coberturas foram incorporados ao solo na forma de matéria orgânica, porém não foram suficientes para modificar a densidade do solo.

Em 2009 os valores DS variaram de $1,57$ a $1,65 \text{ g cm}^{-3}$, isto é, aumentaram em todos os tratamentos e também não diferiram significativamente entre si, porém diferiram

entre anos como é esperado em sistemas iniciais de plantio direto (ALVES; SUZUKY, 2004) (Tabela 3.22).

Pelá (2002) estudando o efeito de plantas de cobertura em propriedades físicas do solo encontrou comportamento semelhante ao verificado neste estudo, em que a DS aumentou com o plantio direto e somente diminuiu ao longo de muitos anos sob este sistema.

Este comportamento é corroborado pelos trabalhos de Silva e Rosolem (2001), que atribuem o valor de DS de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ como crítico para o desenvolvimento de plantas de cobertura.

Tabela 3.22 - Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm^{-3}), no SPD 1 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.

Tratamentos	DS				DP			
	2008	2009	Média	Variância	2008	2009	Média	Variância
Convencional	1,51 B	1,65 A	1,58	0,0090	2,02 A	1,90 B	1,96	0,0084
Veg. natural. (VN)	1,55 A	1,62 A	1,58	0,0054	1,96 A	1,89 A	1,93	0,0033
Milheto + VN	1,50 B	1,61 A	1,56	0,0038	2,04 A	1,93 B	1,98	0,0068
Braquiária + VN	1,48 A	1,57 A	1,53	0,0036	2,05 A	1,82 B	1,94	0,0165
Sorgo +VN	1,57 A	1,61 A	1,59	0,0033	2,01 A	1,93 A	1,97	0,0090

* Estatística do teste para DS ($X^2 = 2,40$; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Estatística do teste para DP ($X^2 = 4,12$; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de $p \leq 0,05$.

Para o SPD 1 que teve milho como cultura principal em 2008 os resultados estão de acordo com Cubilla *et al.* (2002), que não encontrou diferença significativa nos valores de densidade do solo (DS) entre os tratamentos de plantas de cobertura associadas com milho.

A densidade de partículas (DP) variou entre $1,93$ a $1,97 \text{ g cm}^{-3}$ para o SPD 1 não sendo verificadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de cobertura (Tabela 3.22).

A DP, como é um atributo físico do solo estável, portanto não sujeito as variações devido ao manejo, as semelhanças estatísticas dos valores já era esperada.

Mesmo em pequenas profundidades, não se esperam grande variações para este atributo do solo, considerando o maior aporte de matéria orgânica na camada superficial (0,0 - 20,0 cm).

A DP diferiu entre anos e em 2009 houve em todos os tratamentos, uma possível explicação para este resultado seria o desenvolvimento do sistema radicular das culturas estariam causando um efeito na variação espacial das partículas do solo.

Os resultados opostos para DP, foram observados por Mendes *et al.* (2006), não encontrando diferenças significativas entre as áreas em estudo, sendo uma das coberturas utilizadas uma leguminosa, e em diferentes profundidades.

3.1.2 Para o SPD 2

No sistema convencional observou-se que a média da densidade do solo (DS) foi de $1,51 \text{ g cm}^{-3}$, este valor foi pouco inferior aos $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ obtidos no SPD1, (Tabelas 3.22 e 3.23).

A DS não diferiu para as coberturas estudadas e anos agrícolas. Este resultado é oposto ao verificado pelo SPD1 em que houve diferença entre anos agrícolas. Este resultado pode ser explicado pela rotação de culturas do SPD 1 ser mais eficiente do que o SPD 2 para alteração neste atributo de solo.

Os resultados obtidos pelos SPD 1 e SPD 2 são divergentes de Pelá (2002) que obteve valores de DS variando de 1,44 a $1,48 \text{ g cm}^{-3}$ para milho, guandu, mucuna preta, crotalária, braquiária e pousio, enquanto que nos SPD 1 e SPD 2 observou-se uma variação de 1,55 a $1,57 \text{ g cm}^{-3}$.

Tabela 3.23 - Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm^{-3}), no SPD 2 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milho, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.

Tratamentos	DS				DP			
	2008	2009	Média	Variância	2008	2009	Média	Variância
Convencional	1,55 B	1,54 A	1,51	0,0031	2,16 bA	2,02 aB	2,09	0,0058
Veg. natural. (VN)	1,55 A	1,57 A	1,56	0,0011	2,15 bA	2,00 aB	2,08	0,0081
Milho + VN	1,58 A	1,56 A	1,57	0,0002	2,23 abA	2,07 aB	2,15	0,0122
Braquiária + VN	1,58 A	1,54 A	1,56	0,0040	2,26 aA	2,05 aB	2,15	0,0226
Sorgo +VN	1,52 B	1,57 A	1,54	0,0024	2,16 bA	2,04 aB	2,10	0,0105

* Estatística do teste para DS ($X^2 = 11,84$; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Estatística do teste para DP ($X^2 = 3,50$; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de $p \leq 0,05$.

Os valores de densidade de partículas (DP) em 2008 variaram com os tratamentos. As coberturas com braquiária e milho foram superiores as demais para este atributo (Tabela 3.23).

As coberturas com vegetação natural adicionadas de milho e braquiária promoveram a maior DP, uma possível explicação para estas diferenças significativas seria a não homogeneidade do bloco em que foram detectadas diferenças significativas (Tabela 3.21). Esta afirmação está de acordo com Guimarães (2000) de que as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo a que o solo é submetido, e que este atributo é fixo e a variação é proveniente da própria formação natural do solo.

Em 2009 os valores de DP foram inferiores a 2008, porém a relação da DP com as plantas pode ser considerada como sendo indireta; isso porque os valores altos ou baixos encontrados estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem influenciar mais diretamente no comportamento das plantas (KIEHL, 1979).

3.2 Distribuição e tamanho de poros do solo

A análise das características físicas do solo é um importante indicador da sustentabilidade dos diferentes tipos de uso das terras. A porosidade do solo e a relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para avaliação da estrutura do solo.

3.2.1 No SPD 1

Em termos de distribuição de poros, verificou-se que a microporosidade (MI) não variou entre as coberturas utilizadas, (Tabela 3.20). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MI em 2008 para o sistema convencional e coberturas foram superiores aos de 2009 com médias de 12,17 e 7,16%, respectivamente. Em 2009 a cobertura com vegetação natural adicionada de sorgo apresentou a maior média de MI (8,10%) apresentando assim resultado semelhante em 2008. As demais coberturas utilizadas compuseram um grupo homogêneo e diferiram em relação a 2008.

A microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, influenciando o desenvolvimento das plantas especialmente nas épocas críticas de suprimento hídrico (BEUTLER, 2002; VEIGA, 2005).

Este comportamento é oposto ao verificado por Pelá (2002), que observou um pequeno aumento da microporosidade e da densidade do solo para milho, guandu, mucuna preta, crotalaria, e pousio até 10 cm de profundidade, demonstrando a participação destas coberturas no aumento da microporosidade do solo.

Verificou-se que a macroporosidade (MA) não diferiu entre coberturas utilizadas e somente para os anos agrícolas (Tabela 3.20). Observando-se os resultados, os valores médios de MA em 2008 e 2009 foram de 12,13 e 7,82%, respectivamente.

Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MA em 2008 e 2009 se constituíram de blocos homogêneos entre todas as coberturas, porém este resultado pode ser explicado pela grande diversidade de plantas daninhas que possuem sistemas radiculares diferentes ocupando diversos espaços na área de cultivo.

Tabela 3.24 - Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 1, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milho, braquiária e sorgo em 2008 e 2009 de Quixadá-CE.

Tratamentos	MI			MA			PT	
	2008	2009	Média	2008	2009	Média	2008	2009
Convencional	12,59 A	6,22 B	9,41	12,53 A	6,89 B	9,71	25,13 A	13,12 B
V. natural (VN)	10,23 A	6,97 B	8,60	10,66 A	7,58 B	9,12	20,89 A	14,55 B
Milho + VN	13,04 A	8,00 B	10,52	12,88 A	8,60 B	10,74	25,93 A	16,60 B
Braq. + VN	14,20 A	6,54 B	10,37	13,44 A	7,36 B	10,40	27,64 A	13,91 B
Sorgo +VN	10,80 A	8,10 A	9,45	11,12 A	8,66 B	9,89	21,93 A	16,77 A

* Estatística do teste para MI (X^2) = 4,73; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Estatística do teste para MA (X^2) = 3,29; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de $p \leq 0,05$.

Considerando que os macroporos são a rota primária para o movimento da água no solo, a redução dos mesmos pode restringir a transmissão da água e nutrientes até a zona radical. Em todos os tratamentos, inclusive no convencional, a macroporosidade esteve próxima de 10,0%, nível considerado crítico para as trocas gasosas (REYNOLDS *et al.*, 2002).

Quanto a porosidade do total (PT) verificou-se que não diferiu entre coberturas utilizadas e somente para os anos agrícolas (Tabela 3.20). Em 2008 todas as coberturas

constituíram um grupo homogêneo com uma média de 24,30%. Para o ano de 2009 a média de PT foi de 14,99% e somente a cobertura constituída de vegetação natural adicionada de sorgo teve efeito semelhante ao ano anterior. Esta redução esta diretamente ligada à quantidade microporos e macroporos do solo que também apresentaram reduções.

3.2.2 No SPD 2

A partir da distribuição dos microporosidade (MI), variou de 10,5 a 16,2% diferindo entre coberturas e anos agrícolas (Tabela 3.25). Analisando cada tratamento, observa-se que os valores médios de MI em 2008 para o sistema convencional e coberturas foram superiores e significativas aos de 2009 com médias de 15,35 e 11,64%, respectivamente. A cobertura com vegetação natural apresentou a menor média de MI (14,2%) que se diferenciou das demais coberturas com em 2008. Uma explicação para que o sistema convencional tenha apresentado uma grande quantidade de MI seria em razão das 2 reduzidas passagens da grade niveladora para preparo da área e incorporação das plantas invasoras que não foram suficientes para degradar a estrutura do solo.

Em 2009 a vegetação natural apresentou a menor média de MI (10,5%) resultado semelhante a 2008, e as demais coberturas formaram um conjunto homogêneo. Comparando-se os resultados do SPD 1 (Tabela 3.24) para MI (8,6%) e do SPD 2 (Tabela 3.25) a MI (12,4%), observa-se que rotação feijão-caupi milho teve influência sobre a manutenção e aumento dos microporos, já que estes influenciam o desenvolvimento de plantas em épocas de pouca disponibilidade hídrica do solo (BEUTLER, 2002).

Tabela 3.25 - Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 2, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em 2008 e 2009 de Quixadá-CE.

Tratamentos	MI			MA			PT	
	2008	2009	Média	2008	2009	Média	2008	2009
Convencional	16,2 aA	11,7 abB	14,1	15,2 aA	11,8 abB	13,5	31,5 aA	23,6 abB
V.natural (VN)	14,2 bA	10,5 bB	12,4	13,5 bA	10,8 bB	12,2	27,8 bA	21,3 bB
Milheto + VN	15,2 abA	12,1 aB	13,7	13,9 abA	12,0 abB	12,9	29,2 abA	24,2 aB
Braq. + VN	15,6 aA	12,2 aB	13,9	14,4 abA	12,2 aB	13,3	30,1 abA	24,5 aB
Sorgo +VN	15,3 abA	11,4 abB	13,4	14,2 abA	11,5 abB	12,9	29,5 abA	23,0 abB

* Estatística do teste para MI (X^2) = 1,23; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Estatística do teste para MA (X^2) = 2,84; Valor crítico (alfa = 5%) = 9,48; Valor crítico (alfa = 1%) = 13,27.

* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de $p \leq 0,05$.

Verificou-se que a macroporosidade (MA) variou de 10,8 a 14,4% diferindo para coberturas e para e anos agrícolas (Tabela 3.25). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MA em 2008 foram superiores aos de 2009 com médias de 14,3 e 11,7%, respectivamente. O aumento da macroporosidade pode ser atribuído à proliferação de raízes nas camadas sub-superficiais.

A cobertura com vegetação natural em ambos os anos apresentou a menor média de MA (12,2%) e as demais coberturas apresentaram médias superiores e significativas para a MA. Este resultado pode estar relacionado à quantidade de palhada proveniente da parte aérea das plantas estudadas.

Comportamento similar também foi observado por Pelá (2002), trabalhando com feijão guandu nas camadas de 0 a 0,2 m na região de Jaboticabal-SP. A macroporosidade aumentou na maioria dos tratamentos nas camadas de 0 a 0,2 m, fato também destacado por Maciel Junior (1999), porém Andreola *et al.* (2000) trabalhando com nabo forrageiro e aveia preta, observaram efeito contrário ao obtido, pois constataram tendência dos valores de macroporosidade serem menores com aumento da profundidade.

A porosidade total (PT) variou de 21,3 a 31,5% diferindo para coberturas e anos agrícolas (Tabela 3.25). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de PT em 2008 foram superiores aos de 2009 com médias de 29,6 e 23,3%, respectivamente.

Em 2008 e 2009 a cobertura com vegetação natural apresentou a menor média em relação às demais coberturas, esta mesma tendência ocorreu com macroporos e microporos. Este resultado mostra que o uso de culturas de cobertura tende a melhorar características físicas do solo. O sistema convencional também apresentou uma boa porosidade em virtude das melhores condições climáticas efeito da rotação de culturas.

Resultados opostos foram encontrados por Beutler (1999) e Rosolem *et al.* (1999) em que a menor porosidade no plantio convencional e nas camadas superficiais pode estar relacionada ao tráfego de máquinas, em especial por ocasião no preparo da área.

Verificou-se que, nas áreas trabalhadas com plantio direto, houve um aumento na porosidade no SPD 1 em relação ao SPD 2. Constata-se que a rotação de culturas teve influência sobre a porosidade total do solo. Resultado diferente foi obtido por Bertol *et al.* (2004), quando observaram um aumento de 3% no volume total de poros, no convencional em

relação ao plantio direto, o qual evidenciou que o manejo do solo promoveu para o volume total de poros.

3.3 Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes.

As coberturas convencional e vegetação natural se comportaram bem diferentes das demais, ocorrendo uma maior RP na faixa mais superficial, entre 0 e 0,10 m. As demais apresentaram RP semelhantes nesta faixa de profundidade (Figura 3.4).

Na faixa de 0,1 a 0,2 m de profundidade as coberturas com vegetação natural adicionadas de sorgo e braquiária apresentaram menores valores de RP, este resultado pode ser explicado pela melhor germinação destas coberturas durante os anos agrícolas.

Os valores de resistência à penetração, especialmente em subsuperfície, considerados críticos são de 2,0 Mpa (BENGHOUGH; MULLINS, 1990). Vale ressaltar que nenhuma cobertura apresentou valores de RP que ultrapassaram o valor limite de 2 Mpa até a profundidade de 0,2 m sendo inferiores ao limite crítico proposto por Taylor *et al.* (1966) para o desenvolvimento de raízes.

Todas as coberturas constituíram um bloco homogêneo, resultado oposto verificado no SPD 1 (Figura 3.5).

Na faixa de 0,1 a 0,2 m de profundidade todas as coberturas apresentam valores maiores de RP, chegando a ultrapassar o limite crítico de 2 Mpa a 0,2 m de profundidade.

Tavares Filho *et al.* (2001) observaram que valores de resistência à penetração superiores a 3,5 Mpa não restringiram o desenvolvimento do sistema radicular do milho, porém alteraram a sua morfologia. Ressalta-se que a resistência à penetração normalmente aumenta com o incremento da densidade e redução da umidade do solo, apresentando variabilidade espacial e temporal por influência das condições de manejo dado ao solo (SILVA *et al.*, 2004).

Entretanto, a partir dos 0,20 m de profundidade, observam-se altos valores de resistência o que mostra que a área apresenta maior compactação em profundidade, provavelmente devido ao manejo do solo nestas áreas ao longo dos anos.

Em ambos os SPD, constata-se que a rotação de culturas pouco influenciou na RP, porem o SPD 2 apresentou maiores RP mostrando que existe compactação na área do experimento.

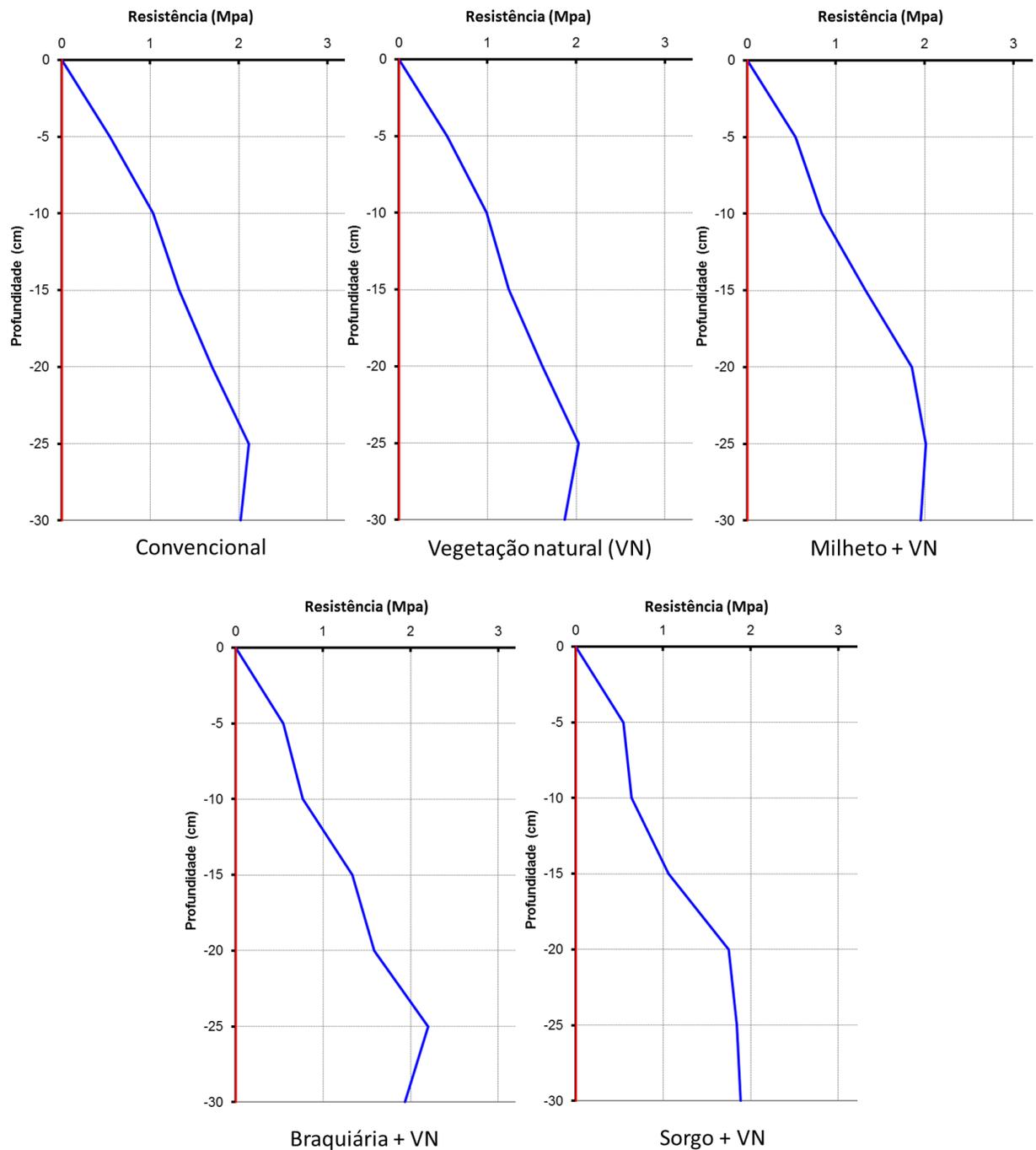


Figura 3.4 Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 1, 2008 a 2009. Quixadá-CE.

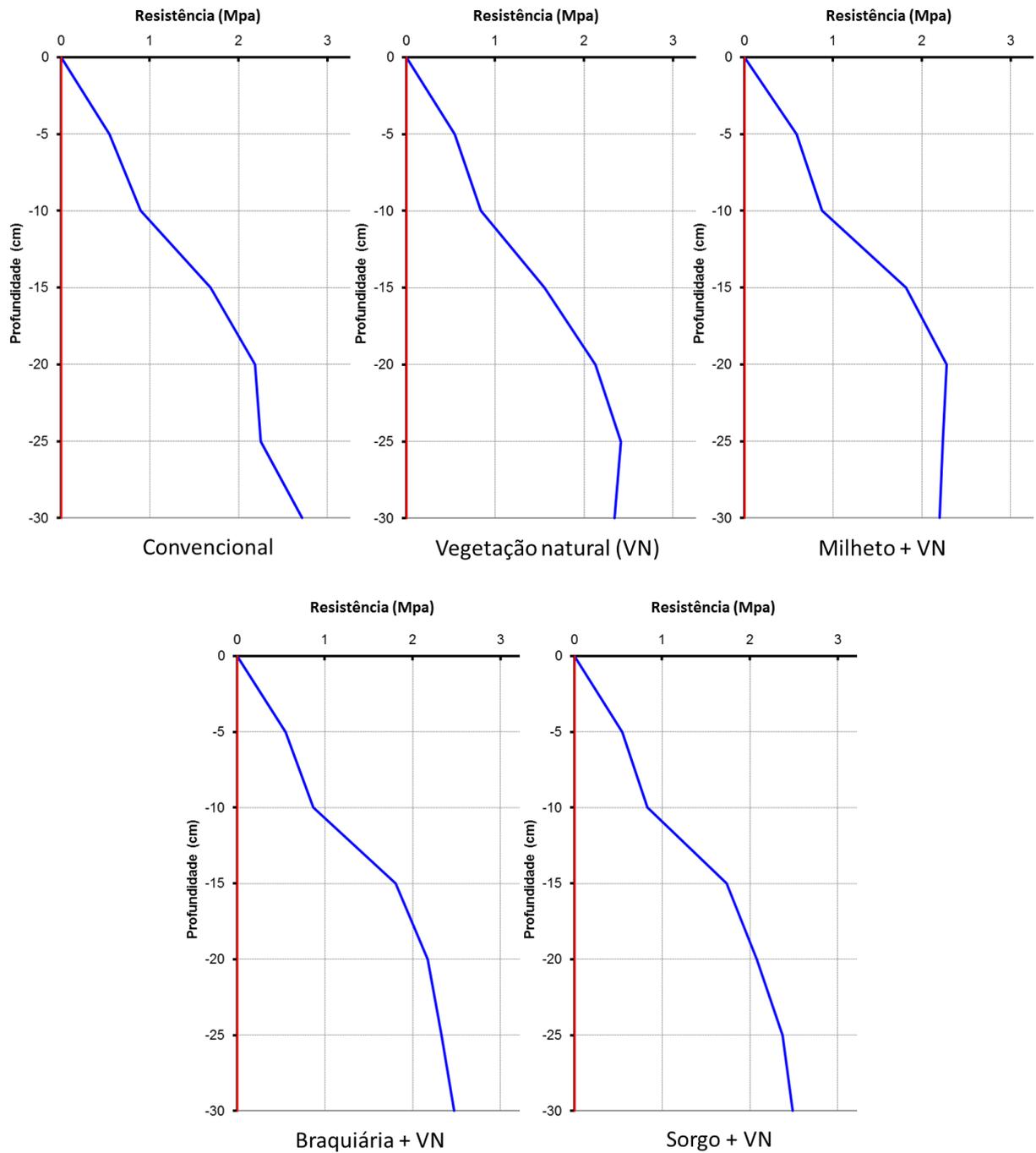


Figura 3.5 Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 2, Quixadá-CE, 2008 a 2009.

4. CONCLUSÕES

Os sistemas de plantio direto avaliados aumentaram a densidade do solo.

A porosidade do solo foi influenciada pelas coberturas vegetais

As coberturas utilizadas reduziram a porosidade total do solo, porém todas as coberturas foram superiores ao convencional.

A rotação de culturas proporcionou pequena melhoria na resistência do solo a penetração em ambos os sistemas plantio direto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLA, F., COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p. 857-865, 2000.

ALVES, M.C. e SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Science**, n.26, p.27-34, 2004.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247p.

BADWAL, S. S.; SINGH, H. Effect of growth habit on correlations and path coefficients in groundnut. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v.33, p.101-111, 1973.

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

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A.N. **Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999, 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras/MG, 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.22, p.191-199, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro: MAPA/SUDENE. 1973. v.1, p.301 (Boletim Técnico, 28).

CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; COSTA, O. V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ/SBZ, 2001. CD-ROM.

CUBILLA, M.A.; REINERT, D.J.; AITA, C; JOSÉ MIGUEL REICHERT, J.M. e RANNO, S. K. Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação. **XIV Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água.** Cuiabá-Mt, 21 a 26 de Julho de 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Sistema de Produção de Informação – SPI. 1999. 412 p.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Guia de cultivares.** Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/produtos/produtos/br205.html>. Acesso em 20 jun. 2009.

FORSYTHE, W. M. **Física del suelos: Manual de laboratório.** San José, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975, 212 p.

Guimarães, E.C. Variabilidade espacial de atributos de uma Latossolo Vermelho-escuro, textura argilosa, da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. **Tese Doutorado**, 85 f. Campinas: UNICAMP, 2000

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia.** São Paulo. 1979, 264 p.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada.** 2004. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de pós-graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MACIEL JUNIOR, V. A. **Sistemas de cultivo de milho (*Zea mays L.*) e seus efeitos no solo e na planta.** 1999. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinária de Jaboticabal - UNESP, Jaboticabal-SP, 1999.

MELLO, L. M. M. Integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P. & MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá -MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006

MONTARDO, D. P; AGNOL, M. D; CRUSIUS, A. F. Análise de trilha para rendimento de Sementes de trevo Vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.5, p.1076-1082, 2003.

NOVAIS, R. F. et al. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, p. 1017, 2007.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, p.319 – 337, 1984.

PAIVA, J. B, TEÓFILO; E. M, SANTOS; J. H. R, LIMA; J. A. A. **Setentão: novo cultivar de feijão-de-corda para o Estado do Ceará**, Fortaleza, 1988. (Folheto informativo)

PELÁ, A. **Uso de plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal-SP**. 2002, 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinária de Jaboticabal - UNESP, Jaboticabal-SP, 2002.

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

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, p. 131-146, 2002.

SECCO, D.; ROS, C.O. da; FIORIN, J. E.; PAUTZ, C. V.; PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n.1, p. 57–60, 1997.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 25, p. 253–260, 2001.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 34, p. 399-406, 2004.

SILVA, F. DE A. S. E. & AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

STARTSEV, A. D.; MCNABB, D. H. Skidder traffic effects on water retention, pore-size distribution, and van Genuchten parameters of boreal forest soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 65, p. 224-231, 2001.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.E.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 725-730, 2001.

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

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A. C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

YADAVA, T. P.; KUMAR, P.; YADAV, A. K. Correlation and path analysis in groundnut. **Haryana Agricultural University Journal Research**, Haryana, India, v.11, p.169-171. 1981.