

Distribuição espacial de carbono, nutrientes e solo em Luvisolos sob sistemas agrícolas tradicionais e agroflorestais no município de Sobral-CE

RAFAELLA DA SILVA NOGUEIRA

JANEIRO – 2009
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

Distribuição espacial de carbono, nutrientes e solo em Luvisolos sob sistemas agrícolas tradicionais e agroflorestais no município de Sobral-CE

RAFAELLA DA SILVA NOGUEIRA

Dissertação submetida
à Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, Área de Concentração em
Solos e Nutrição de Plantas, da
Universidade Federal do Ceará - UFC,
como parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre.

JANEIRO – 2009
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciência e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Rafaella da Silva Nogueira

Dissertação aprovada em __/__/__

Prof. Teógenes Senna de Oliveira – D.Sc.
(Orientador)

Prof. Adunias dos Santos Teixeira – Ph.D.
(Co-orientador)

Mônica Matoso Campanha – D.Sc.
(Examinadora)

Ricardo Espíndola Romero – Doutor
(Examinador)

A Deus, pela presença constante na minha vida, por
ter me ofertado saúde, sabedoria, força para
superar os obstáculos da vida e conforto
nas horas difíceis.

Aos meus pais Val e Lena, minhas irmãs Nilda e Tatiana
pela compreensão, apoio, incentivo, a Lili pela fidelidade
e por todos os momentos felizes que compartilhamos.

Ao meu namorado Fred Denílson, pela paciência,
compreensão, carinho e apoio que mesmo distante
procurou sempre me dar forças para superar o
cansaço e as dificuldades durante a realização deste
trabalho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos desta caminhada, sempre me cobrindo com seu manto de amor, proteção e luz, principalmente nos momentos mais difíceis desta caminhada, demonstrando que a vida é um constante aprendizado.

À Universidade Federal do Ceará, em particular ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade de realização do curso, pela atenção e carinho a qual fui concedida durante o curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

À EMBRAPA – CNPC, na pessoa da pesquisadora Mônica Matoso Campanha por suas importantes colaborações na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira pela sua confiança, paciência, apoio, orientação nestes dois anos de trabalho, onde mesmo a distância se dispôs a me orientar e por todos os ensinamentos transmitidos ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira pelos ensinamentos, sobretudo de técnicas geoestatísticas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero pela disposição, ajuda, paciência, dedicação e ensinamentos, principalmente no momento da avaliação da espessura do horizonte superficial que representou um parâmetro fundamental para avaliar os efeitos da erosão nos sistemas de manejo estudados.

Ao Prof. Dr. Eduardo Sá Mendonça pelo apoio, pelos ensinamentos a respeito do índice de manejo de carbono, pelas sugestões e disposição quando visitei a UFV.

À Maria Geórgia Brandão Melo, pelo apoio, pela amizade e pelo auxílio na realização dos procedimentos laboratoriais.

Ao Franzé pelo apoio e confiança durante as determinações da densidade do solo, ao Tavares, Antônio José e Francisco pela força, disposição e auxílio em algumas etapas deste estudo. Aos professores, funcionários e estudantes da pós-graduação do Departamento de Ciências do Solo, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao senhor Ricardo e companheiros, a Verônica e Paulo pela imensa colaboração e disposição durante os procedimentos de coleta de dados em Sobral.

A minha amiga Valdenira, pela solidariedade, amizade, compreensão, apoio e pelos conselhos, que muitas vezes foram fundamentais, para prosseguir nesta caminhada.

Aos meus amigos, Ana Leônia, Carol, Elinete, Eveline, Giovana, Geocleber, Gislane, Ivanilda, Priscila, Sâmia, Virginia, Wanderlúcia e Wesley pela convivência, amizade e incentivo, apoio e solidariedade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Val e Lena, que mesmo perante aos diversos obstáculos da vida, sempre garantiram o direito de estudos as suas filhas. Tudo que sou devo a vocês, por isso não tenho palavras para descrever e agradecer todo o carinho, apoio, incentivo que foi concedido no decorrer destes anos. Gostaria de agradecer pela paciência, compreensão, ajuda e apoio fornecidos, principalmente, ao longo desta jornada. Agradeço também as minhas irmãs Tatiana e Nilda e meu cunhado Jonas pela ajuda e incentivo para superar os obstáculos.

Ao meu futuro esposo Fred Denílson, pelo seu apoio incondicional em todas as etapas de realização desta pesquisa, ou seja, na coleta das amostras em Sobral, que não foi nada fácil, nas análises laboratoriais, na tabulação dos dados, descrição dos resultados e elaboração da defesa. Vencer o obstáculo da distância e da saudade para finalizar este trabalho foi uma tarefa difícil e longa, mas me fez refletir e sentir o quanto você representa na minha vida, a pessoa maravilhosa que Deus colocou ao meu lado, os momentos felizes e as superações que passamos juntos, tudo que já conquistamos e o que ainda iremos construir juntos. Em alguns momentos senti desestímulo em seguir a minha vida acadêmica, porque as vezes a vida nos prepara uma surpresa, mas mesmo diante disso você teve paciência e procurou me dar forças para seguir em frente e superar as dificuldades, por isso ao seu lado sinto-me completa, mais forte e feliz. Além disso, você permitiu conhecer e conviver com pessoas maravilhosas, que fazem parte da minha vida e do meu coração, portanto não poderia deixar de prestar meus agradecimentos a seus pais José Nilton e Maria Antônia, sua irmã Geysla Alynne e seu irmão Fábio Leno, embora não esteja conosco mas sua memória jamais será esquecida, que sempre procuraram dar apoio e compreensão principalmente nos momentos difíceis. Poderia escrever inúmeras palavras como forma de agradecer todo o amor, apoio, companheirismo e paciência mais nenhuma delas irá expressar o quanto sou grata a você e o quanto eu te amo.

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. A erosão hídrica nos solos agrícolas.....	5
2.2. Geoestatística no estudo da variabilidade espacial do solo.....	10
2.3. Os sistemas agroflorestais como uma alternativa sustentável.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1. Localização da área estudada	16
3.2. Descrição dos tratamentos	16
3.3. Georreferenciamento da área e classificação do relevo.....	19
3.4. Análises químicas e físicas de solo.....	21
3.5. Determinação da profundidade do horizonte A	23
3.6. Quantificação do estoque de carbono orgânico total, particulado e associado no solo	24
3.7. Índice de manejo de carbono.....	24
3.8. Avaliação dos dados de massa de carbono, nutrientes e solo.....	25
3.9. Análises estatísticas	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. A definição do método de interpolação	27
4.2. Formas de carbono orgânico total, particulado, associado e solúvel.....	29
4.2.1. Estatística descritiva.....	29
4.2.2. Parâmetros dos semivariogramas	36
4.2.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	39
4.3. Análise das variáveis químicas do solo	53
4.3.1. Estatística descritiva.....	53
4.3.2. Parâmetros dos semivariogramas	56
4.3.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	59
4.4. Análise das variáveis físicas do solo	67

4.4.1. Estatística descritiva.....	67
4.4.2. Parâmetros dos semivariogramas	70
4.4.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	74
4.5. Índice de manejo de carbono.....	81
4.5.1. Estatística descritiva.....	81
4.5.2. Parâmetros do semivariograma	84
4.5.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	85
4.6. Avaliação da espessura do horizonte A e do risco de erosão na área estudada.....	88
4.6.1. Estatística descritiva.....	88
4.6.2. Parâmetros do semivariograma	90
4.6.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	91
4.7. Variação da massa de carbono nos diferentes sistemas de manejo estudados.....	96
4.7.1. Estatística descritiva.....	96
4.7.2. Parâmetros dos semivariogramas	100
4.7.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	101
4.8. Variação da massa de P disponível, K e Na trocáveis.....	107
4.8.1. Estatística descritiva.....	107
4.8.2. Parâmetros dos semivariogramas	110
4.8.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	111
4.9. Variação da massa de solo nos diferentes sistemas de manejo estudados.....	116
4.9.1. Estatística descritiva.....	116
4.9.2. Parâmetros dos semivariogramas	118
4.9.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície	118
5. CONCLUSÕES	121
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma(h)$	- semivariância entre os pares de valores medidos para determinada distância h
h	- distância entre valores medidos
$N(h)$	- número de pares de pontos medidos $Z(x_i), Z(x_i + h)$
Z	- valor do atributo
x_i	- posição de determinado atributo
C_0	- consiste no efeito pepita
C_1	- patamar
a	- alcance
$z(x_1)$	- valor observado no ponto 1
$\hat{z}(x_1)$	- equivale ao valor estimado para o ponto 1
$\sigma(x_1)$	- desvio padrão dos valores estimados no ponto 1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho esquemático de um semivariograma experimental e seus parâmetros.	11
Figura 2. Localização da área experimental no município de Sobral-CE.....	17
Figura 3. Área experimental e localização dos pontos de coleta nos sistemas de manejo agrissilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV), tradicional 1 (TR ₁), tradicional 2 (TR ₂), cultivo intensivo em pousio (CIP), vegetação natural 1 (VN ₁) e vegetação natural 2 (VN ₂) na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	20
Figura 4. Perfil esquemático com as distâncias adotadas para a coleta de dados.....	21
Figura 5. Variabilidade espacial das classes de declividade em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE...	43
Figura 6. Variabilidade espacial da curvatura do terreno em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE...	44
Figura 7. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico total (COT) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	45
Figura 8. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico particulado (COP) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	46
Figura 9. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico associado (COA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	47
Figura 10. Variabilidade espacial dos teores de carbono solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	48

Figura 11. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico total (COT) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	49
Figura 12. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico particulado (COP) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	50
Figura 13. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico associado (COA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	51
Figura 14. Variabilidade espacial dos estoques de carbono solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	52
Figura 15. Variabilidade espacial dos teores de P disponível em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE....	61
Figura 16. Variabilidade espacial dos teores de Na trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE....	62
Figura 17. Variabilidade espacial dos teores de K trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE....	63
Figura 18. Variabilidade espacial dos estoques de P disponível em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	64
Figura 19. Variabilidade espacial dos estoques de Na trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	65
Figura 20. Variabilidade espacial dos estoques de K trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	66

Figura 21. Variabilidade espacial dos teores de areia em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.	77
Figura 23. Variabilidade espacial dos teores de silte em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.	78
Figura 24. Variabilidade espacial dos teores de argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.	79
Figura 25. Variabilidade espacial dos valores de densidade do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	80
Figura 26. Variabilidade espacial dos índices de manejo de carbono em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	87
Figura 27. Distribuição dos valores de espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	94
Figura 28. Classificação da espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.	95
Figura 29. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico total (COT) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	103
Figura 30. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico particulado (COP) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	104
Figura 31. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico associado (COA) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	105

Figura 32. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico solúvel (CSA) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	106
Figura 33. Distribuição espacial da massa de P disponível no período de 1997 a 2008 em Luvisolos, sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	113
Figura 34. Mapas de distribuição espacial da massa de Na trocável no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.	114
Figura 35. Distribuição espacial da massa de K trocável no período de 1997 a 2008 sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	115
Figura 36. Distribuição espacial dos dados de massa de solo no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de validação para os métodos de krigagem, inverso do quadrado da distância (IQD) e triangulação para os dados de cota, COT, P disponível e areia.....	28
Tabela 2. Estatística descritiva dos teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE	31
Tabela 3. Estatística descritiva dos estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	34
Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	37
Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	38
Tabela 6. Estatística descritiva dos teores de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	54
Tabela 7. Estatística descritiva dos estoques de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	55
Tabela 8. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os teores de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	57
Tabela 9. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os estoques de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	58

Tabela 10. Estatística descritiva das frações areia, silte e argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE	68
Tabela 11. Estatística descritiva dos valores de densidade do solo em Luvisolos Crômico sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	69
Tabela 12. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores de areia, silte e argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	71
Tabela 13. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos valores de densidade do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	72
Tabela 14. Valores de alcances para os teores e estoques de carbono orgânico total, particulado, associado e solúvel em água, P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	73
Tabela 15. Valores de alcances para os dados de areia, silte, argila e densidade do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	73
Tabela 16. Índice de manejo de carbono em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	81
Tabela 17. Quantificação das áreas com IMC inferiores e superiores a condição de vegetação natural em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	84
Tabela 18. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de IMC em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	85
Tabela 19. Medidas descritivas para os valores de espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	88
Tabela 20. Quantificação das áreas classificadas de acordo com a susceptibilidade aos efeitos da erosão em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	89

Tabela 21. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para a espessura em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	91
Tabela 22. Variação da massa de COT, COP, COA e CSA do solo no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	96
Tabela 23. Estatística descritiva dos dados de massa para as variáveis COT, COP, COA e CSA do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	99
Tabela 14. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de COT, COP, COA, CSA em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	100
Tabela 25. Variação dos dados de massa de P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	108
Tabela 26. Estatística descritiva dos valores de massa para as variáveis P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	109
Tabela 27. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE	110
Tabela 28. Variação dos dados de massa de solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	117
Tabela 29. Estatística descritiva dos valores de massa do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	117
Tabela 30. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.....	118

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar os teores e estoques de carbono orgânico nas formas: total (COT), particulada (COP), associada (COA) e solúvel em água (CSA), P disponível, K e Na trocáveis, assim como a possível redistribuição destes elementos e das partículas do solo pela erosão hídrica em sistemas agroflorestais, comparativamente ao sistema de cultivo tradicional e intensivo. O estudo foi desenvolvido em área experimental localizada na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos da EMBRAPA, no município de Sobral-CE. A partir de projeto desenvolvido desde 1997 foram selecionadas as seguintes áreas: Agrissilvipastoril (AGP), Silvipastoril (SILV), Tradicional 1 (TR₁), Tradicional 2 (TR₂), Cultivo Intensivo em Pousio (CIP), Vegetação Natural 1 (VG₁) e Vegetação Natural 2 (VG₂).

A área estudada foi georeferenciada, nos transectos as amostras foram coletadas a profundidade de 0-5 cm a cada 20, 10 ou 5 m de acordo com o relevo. Os teores de COT foram determinados por oxidação úmida, o CSA por centrifugação seguida de oxidação úmida, o fósforo (P) disponível, K⁺ e Na⁺ trocáveis por extração com Mehlich I e colorimetria. Determinou-se também a densidade e a textura do solo, onde na fração areia o COP foi quantificado por oxidação úmida enquanto que o COA foi obtido por diferença entre o COT e o COP. Os resultados foram avaliados através de medidas descritivas e técnicas geoestatísticas. As áreas sob manejo agroflorestal apresentaram teores e estoques de carbono e nutrientes superiores, mesmo em condições de relevo favoráveis a perdas por processo erosivo. A fração areia foi comumente alterada pela ação dos agentes erosivos nos sistemas conservadores, enquanto que nos sistemas mais intensivos a argila foi mais afetada devido à erosão está promovendo perdas do horizonte Bt nestas áreas. As estimativas de perdas e incrementos de solo e nutrientes confirmaram a eficiência do SAF's em reduzir os efeitos da erosão enquanto que as áreas tradicionais promoveram maiores perdas de nutrientes e solo. Além disso, observou-se o predomínio de uma maior variabilidade espacial nos SAF's, quando comparado as áreas manejadas de forma convencional que apresentaram um aspecto uniforme devido à maior ação dos agentes erosivos.

Palavras-chave: *Erosão, Semi-árido, Manejo Agroflorestal, Carbono orgânico, Variabilidade espacial.*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the content and stocks of: organic carbon in the form total (TOC), particulate (COP), associated (COA) and soluble in water (CSA), available P, K and Na exchangeable, as well as possible redistribution of these elements and soil particles by water erosion in agroforestry systems, compared to the traditional system of cultivation and intensive. The study was developed in an experimental area located at the Crioula Farm, CNPC – EMBRAPA, in Sobral County, CE. The following systems were evaluated: Agrisilvipastoril (AGP), Silvipastoril (SILV), Traditional 1 (TR₁), Traditional 2 (TR₂), Fallow Intense Cropping (CIP), Natural Vegetation 1 (VG₁) and Natural Vegetation 2 (VG₂). The studied field was georeferenced in transects and soil samples were collected to a depth of 0-5 cm every 20, 10 or 5 m, according to the condition of terrain. The TOC content was determined by wet oxidation, the CSA for centrifugation followed by wet oxidation, phosphorus (P) available, K and Na exchangeable was extracted by Mehlich-1 and determined colorimetrically. Was determined also the soil density and texture, where it was determined in the sand fraction COP by wet oxidation while the COA was obtained by the difference between the TOC and COP. The results were analyzed using descriptive statistic and geostatistic technique. The areas under management and agroforestry showed content of carbon stocks and superior nutrients, even under conditions favorable for significant losses for the erosion process. The sand fraction was commonly altered by the action of agents in erosive systems conservatives, while more intensive systems in the clay was most affected due to erosion is causing great losses of Bt horizon in these areas. Estimates of losses and gains of soil nutrients and confirmed the efficiency of the SAF's to reduce the effects of erosion while the traditional areas promoted stronger loss of nutrients and soil. Moreover, there is predominance bigger spatial variability in the SAF's, compared the areas managed in a way that presented a conventional uniform appearance due to greater erosive action of the agents.

Key-words: *Erosion, Semi-arid, Agroforestry Management, Organic carbon, Spatial Variability.*

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais estão sendo cada vez mais alterados pelo homem, pois a crescente necessidade de produção de alimentos contribui para que as terras sejam cultivadas intensivamente com práticas inadequadas de manejo, acentuando ainda mais o impacto da erosão no solo.

No Brasil, a erosão hídrica ocorre com frequência e rapidez causando prejuízos não somente ao setor agrícola como também ao ambiente, sendo considerada uma das principais causas da degradação acelerada das terras (Amorim et al., 2001; Pereira et al., 2003). A ação promovida pela energia de impacto das gotas de chuva e a força cisalhante durante o escoamento superficial promovem a desagregação das partículas de solo na superfície (Amorim et al., 2001), favorecendo o transporte de nutrientes e matéria orgânica, o que contribui a longo prazo para a perda ou redução da sustentabilidade dos agroecossistemas (Silva et al., 2005).

Estudos têm indicado que a erosão é um fenômeno bastante destrutivo que proporciona a redistribuição da matéria orgânica, dos nutrientes e das partículas do solo na paisagem (Kosmas et al., 2001; Li & Lindstron, 2001; Souza et al., 2004; Heckrath et al., 2005; Mello et al., 2006), alterando a variabilidade espacial e a dinâmica dos nutrientes e da matéria orgânica no solo.

A redistribuição das partículas do solo, dos nutrientes e matéria orgânica é influenciada pela quantidade, intensidade e duração das chuvas, natureza dos solos, cobertura vegetal e declividade do terreno. Nas superfícies planas, o fluxo de água tende a transportar as partículas de solo em todas as direções, enquanto que em áreas

declivosas o destino são as áreas mais rebaixadas do relevo (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). Cogo et al. (2003) destacam a declividade como um dos fatores que mais influenciam as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois o aumento no declive favorece o volume e velocidade do fluxo, diminuindo a infiltração de água no solo e aumentando a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada.

Neste sentido, Gregorich et al. (1998) comentam que o processo de transporte de partículas promovido pelo fluxo de água favorece uma mudança na capacidade produtiva deste solo, pois o material mais fértil quando transportado é acumulado nas camadas mais profundas, o que reduz a atuação dos microorganismos e a disponibilidade de nutrientes nesta região. Trabalhos que avaliam os efeitos da erosão hídrica encontraram, nos sedimentos transportados maiores concentrações de COT, K e P (Franco et al., 2002; Bertol et al., 2004; Silva et al., 2005; Aguiar et al., 2006; Santos et al., 2007), o que leva a considerá-los como um indicador de movimentação das partículas de solo. Entretanto, estudos têm apontado o carbono orgânico como o elemento mais indicado para avaliar a redistribuição das partículas de solo (Theocharopoulos et al., 2003; Zhang et al., 2006). Isto pode ser atribuído à presença da matéria orgânica em maior quantidade na superfície do solo e a sua baixa densidade, sendo por isso o primeiro constituinte a ser removido pela erosão (Shick et al., 2000).

A sensibilidade as perturbações causadas pelos sistemas de manejo e a sua relação com inúmeros processos que ocorrem no solo têm sido as principais causas para o uso da matéria orgânica como indicador da qualidade do solo (Conceição et al., 2005). Todavia, em situações de manejo adotadas em curto prazo, este indicador pode não ser eficiente em discriminar as alterações na qualidade do solo (Souza et al., 2006). Nesse caso, uma alternativa de incrementar a sensibilidade e a precisão durante a avaliação de diferentes sistemas de manejo consiste na avaliação de frações da matéria orgânica do solo, como a particulada (Bayer et al., 2001, Bayer et al., 2004; Nicoloso, 2005) e solúvel em água (Souza & Melo, 2003). O estudo destas formas de carbono, associado com os atributos do terreno pode ser mais eficiente na avaliação dos efeitos da erosão nos processos de transporte das partículas e no estoque de carbono.

Os efeitos da erosão no estoque de carbono podem afetar a capacidade do solo em reduzir a emissão de CO₂ para atmosfera, por isso o estoque de carbono e de nutrientes tem sido analisado em diferentes sistemas de manejo, tais como: agroflorestais (Neves et al., 2004) e plantio direto (Freitas et al., 2000; Jantallia et al., 2003) com o intuito de verificar o potencial destes sistemas em estocar carbono.

Entretanto, são poucos os estudos que apresentem uma análise integrada do estoque de carbono com os atributos do terreno e o sistema de manejo, permitindo uma avaliação mais precisa da capacidade que o sistema desempenha em estocar carbono. Além disso, de acordo com Souza et al. (2003), permite a determinação de zonas específicas de manejo que assegurem o estoque de carbono no solo.

Pesquisas têm indicado, sobretudo no semi-árido cearense, que a adoção de sistemas agroflorestais tende a reduzir as perdas de solo, água, carbono orgânico e nutriente (Franco et al., 2002; Aguiar et al., 2006) e aumentar a qualidade física e estrutural (Silva, 2008), o aporte de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, o estoque de carbono e nutrientes no solo quando comparado aos sistemas agrícolas convencionais (Neves et al., 2004; Maia et al., 2006; Oliveira, 2006).

Neste contexto, os sistemas agroflorestais (SAF's) surgem como uma alternativa viável, principalmente para a região semi-árida, uma vez que estes sistemas, de acordo com Nair (1993), integram cultivos agrícolas com animais, árvores e arbustos na mesma área de maneira simultânea buscando reduzir o efeito da intervenção humana e a obtenção de benefícios através de interações econômicas e ecológicas.

Young (1999) ressalta que o manejo agroflorestal é de suma importância no controle da erosão no solo, pois a cobertura fornecida pelas copas das árvores e a manta orgânica oriunda da deposição do material vegetal na superfície do solo favorecem a infiltração de água, a agregação das partículas e um menor impacto das gotas de chuva no solo. Estes fatores contribuem para que os sistemas agroflorestais também sejam utilizados na recuperação de áreas degradadas (Franco et al., 2002) e de matas ciliares (Silva, 2002).

Apesar destas vantagens, a escassez de estudos que avaliem a eficiência dos SAF's em reduzir o transporte de partículas de solo, matéria orgânica e nutriente em diferentes condições de relevo, assim como, pesquisas que definam parâmetros indicadores de redistribuição das partículas de solo contribuem para aumentar a necessidade de pesquisas que visem minimizar os efeitos da erosão hídrica e incentivar a adoção dos SAF's.

O presente trabalho foi desenvolvido a partir das hipóteses de que os sistemas agroflorestais proporcionam maior aporte e estoque de matéria orgânica e nutrientes no solo e menor redistribuição das partículas de solo pela erosão hídrica quando comparado aos sistemas convencionais e tradicionais. A dinâmica de nutrientes e matéria orgânica nos SAF's é menos alterada, o que indica o seu potencial de uso como alternativa para

redução dos efeitos da erosão nos solos. Desta forma, objetivou-se avaliar os teores e estoques de carbono orgânico nas formas: total, particulada, associada e solúvel em água, P disponível, K e Na trocável, bem como a distribuição destes elementos e das partículas do solo pela erosão hídrica em sistemas agroflorestais, comparativamente ao sistema tradicional e intensivo, em área experimental conduzida pela EMBRAPA, localizada no município de Sobral-CE.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A erosão hídrica nos solos agrícolas

A importância do solo para a humanidade é bastante difundida, porém a crescente demanda por recursos naturais para suprir o aumento populacional está intensificando ainda mais a sua degradação.

O uso contínuo e inadequado, com adoção de práticas como a queima e retirada da cobertura vegetal, tem acelerado a ação dos agentes erosivos e, conseqüentemente, as perdas de nutrientes e matéria orgânica do solo (MOS), aumentando o depauperamento das características físicas, químicas e biológicas dos solos (Guadagnin et al., 2005).

Em solos descobertos, típicos dos sistemas tradicionais, o impacto das gotas de chuvas é direto, implicando em altos índices de erosão (Centurion et al., 2001). Por outro lado, a eficiência dos sistemas conservacionistas no controle das perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica, em relação aos convencionais, tem sido demonstrado em vários trabalhos (Beutler et al., 2003; Carvalho et al., 2003b; Bertol et al., 2004). Esta eficiência observada nos sistemas conservacionistas pode ser atribuída ao maior aporte de matéria orgânica, o qual favorece a estabilidade de agregados e a estrutura do solo (Mello et al., 2006) e a dissipação da energia cinética, promovida pela cobertura vegetal que ameniza a desagregação do solo e favorece a

infiltração de água, reduzindo o volume da enxurrada e as perdas de nutrientes e de MOS (Guadagnin et al., 2005).

Além da cobertura vegetal, outros fatores associados às condições do terreno podem interferir no processo erosivo. Dentre estes destacam-se a declividade (Pereira et al., 2003) e a forma do relevo (Souza et al., 2003). O aumento da declividade proporciona incrementos no volume e velocidade da enxurrada, diminuindo a infiltração de água no solo. Com isso, aumenta a capacidade de desagregação e o transporte das partículas de solo pela enxurrada (Cogo et al., 2003). Em condições de mesma energia cinética, Amorim et al. (2001) verificaram um aumento nas perdas de solo em torno de 8,7 vezes quando a declividade foi aumentada de 2 para 18%.

O relevo também influencia a ação dos agentes erosivos, sendo a remoção das partículas do solo e água diferenciada para cada forma da vertente (Souza et al., 2003). O fluxo de água na paisagem e a sua influência nas propriedades do solo têm sido estudados através dos atributos do terreno em vários trabalhos (Moore et al., 1993; Valeriano & Carvalho Júnior, 2003; Chagas, 2006; Sirtoli et al., 2008). A velocidade do fluxo de água e o transporte de sedimento são caracterizados pelo perfil de curvatura calculado através do modelo de elevação digital (Chagas, 2006). O perfil de curvatura refere-se à forma da vertente, podendo ser convexa, côncava ou retilínea e está relacionada aos processos de transporte, acúmulo de água, minerais e matéria orgânica (Valeriano & Carvalho Júnior, 2003), exercendo forte influência sobre a distribuição de águas e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas (Chagas, 2006).

De acordo com o relevo, as partículas de solo, nutrientes e a matéria orgânica são redistribuídas pela erosão hídrica em várias direções, favorecendo mudanças na dinâmica dos nutrientes e da matéria orgânica do solo (Kosmas et al., 2001; Liu et al., 2006). Nutrientes de baixa mobilidade e a matéria orgânica, geralmente com maiores concentrações na camada superficial do solo, são os mais susceptíveis ao processo de redistribuição, podendo caracterizar a perda de solo, nutrientes e matéria orgânica em uma determinada área e acúmulo em outra (Gregorich et al., 1998). Estes autores comentam que nas regiões de depósito a parte mais ativa da matéria orgânica está situada nas camadas mais profundas, o que dificulta a disponibilidade de nutrientes às plantas e, segundo Ritchie et al. (2006), altera o estoque de carbono orgânico no solo.

O estoque de carbono no solo tem um importante papel ambiental, uma vez que os ambientes terrestres vêm sendo apontados como alternativas para medidas mitigadoras das mudanças climáticas (Assis et al., 2006). Dentre estes ambientes, o solo

é apontado como o maior compartimento de carbono, porém, devido à susceptibilidade a perdas, tanto a curto como a longo prazo o carbono orgânico do solo deve ser preservado para minimizar os impactos negativos da mudança climática global (Machado, 2005). Além disso, as perdas de carbonos também comprometem a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo, dinâmica da água, atividade biológica, ocasionando desequilíbrios no sistema e intensificando o processo de degradação ambiental (Rangel et al., 2008).

Por estes motivos, avaliações dos teores de carbono orgânico total (COT) têm sido consideradas suficientes em muitos trabalhos para entender a dinâmica da MOS em um sistema de exploração agrícola a longo prazo. Contudo, em situações de curto prazo, as frações da matéria orgânica e a sua labilidade diferencial podem ser uma alternativa para avaliar a eficiência dos sistemas de manejo (Nicoloso, 2005). Para tanto, tem sido utilizado o método de fracionamento físico da MOS por granulometria para separação dos compartimentos da matéria orgânica em: carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado (COA) e carbono orgânico total (Machado, 2005; Nicoloso, 2005; Campos, 2006).

O carbono orgânico particulado (COP) é a fração da MOS separada por dispersão seguida de peneiramento do solo e está associada a fração areia (COP > 53 μm). São partículas derivadas dos resíduos de plantas e hifas, cuja permanência do solo está condicionada a proteção física desempenhada por agregados. Esta fração atua na CTC do solo, sendo fonte de energia para os microorganismos, porém é profundamente afetada por perturbações do meio. A fração do carbono ligada ao silte e a argila é denominada de carbono orgânico associado (COA), a qual interage com a superfície da partícula mineral formando complexos organominerais protegidos através de mecanismos de proteção coloidal (Golchin et al., 1994), dependentes da textura e mineralogia do solo (Bayer et al., 2004). Esta fração pode influenciar a agregação permanente e manter-se no solo por longos períodos (Spagnollo, 2004; Stumer et al., 2007), desempenhando importante função na ciclagem de nutrientes (Conceição et al. 2005; Sturmer et al., 2007).

Estudos têm demonstrado a maior sensibilidade do COP em avaliar, a curto prazo, as diferenças existentes entre sistemas manejados sob plantio direto e convencional (Bayer et al., 2001, Bayer et al., 2004; Conceição et al., 2005; Eiza et al., 2005; Nicoloso, 2005), podendo ser utilizado como indicador de qualidade do solo, sobretudo na avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no COT

do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (Conceição et al., 2005). Entretanto, apesar do COA ter um avançado estágio de humificação, estabilidade química e proteção física pelos microagregados, em áreas cultivadas convencionalmente por longos períodos, esta fração pode ter um efeito significativo na avaliação de sistemas de manejo (Oliveira, 2008).

Embora a MOS seja um excelente indicador de qualidade do solo, a medição dos estoques de COT ou de suas frações em comparação com as condições naturais pode não ser eficiente quando avaliados em diferentes locais, climas e solos (Nicoloso, 2005). Neste sentido, o Índice de Manejo de Carbono (IMC) pode ser utilizado como uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo quando comparado a situação considerada ideal (Blair et al., 1995). O IMC mede as alterações nos estoques e considera os aspectos da labilidade do carbono orgânico do solo (Nicoloso, 2005), sendo valores inferiores a 100% indicativos de impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da matéria orgânica e qualidade do solo (Blair et al., 1995).

De acordo com o método, a fração lábil da MOS é aquela constituída de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos do solo (Rangel et al., 2008), sendo oxidada por uma solução de permanganato de potássio (KMnO_4) $0,333 \text{ mol L}^{-1}$ (Blair et al., 1995). No entanto, Diekow (2003) demonstrou ser possível a utilização dos estoques de COP para o cálculo do IMC, considerando que a fração particulada da MOS como proporcional a fração lábil. Estudos têm apontado o IMC como uma ferramenta útil em indicar os melhores sistemas de manejos de solos e culturas, por integrar numa mesma medida as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (Leite et al., 2003; Oliveira, 2006; Rangel et al., 2008), entretanto poucos são os que consideram a fração particulada como equivalente a lábil na obtenção do IMC (Diekow, 2003; Nicoloso, 2005; Campos, 2006).

Outra fração da MOS que tem sido estudada é o carbono solúvel em água (CSA). De acordo com Kalbitz et al. (2000), os compostos orgânicos solúveis em água são originados da hidrólise de materiais insolúveis provenientes de moléculas orgânicas de diferentes tamanhos e estruturas que passam em membranas de $0,45 \mu\text{m}$. No solo, a concentração de CSA é regulada por atributos como qualidade e teor de matéria orgânica, acidez, disponibilidade de nutrientes, mineralogia e fatores ligados à comunidade microbiana (Oliveira Júnior et al., 2008). O baixo teor de CSA pode significar a dificuldade do ataque inicial pelas enzimas oriundas de microrganismos ou que o estágio de síntese das enzimas já se encontra mais avançado, refletindo o estágio

inicial de degradação dos resíduos orgânicos incorporados ao solo (Souza & Melo, 2003). A influência de práticas, tais como relevo, clima, rotação de culturas, adubação nitrogenada, incorporação de resíduos vegetais e esterco nos teores de CSA tem sido citadas em pesquisas desenvolvidas por Kalbitz et al. (2000), Chantigny et al. (2003) e Embacher et al. (2007). Entretanto, a dinâmica desta forma de carbono após o uso de práticas de manejo tem sido pouco estudada (Chantigny et al., 2003).

A matéria orgânica, principalmente nas formas de maior labilidade como a particulada e solúvel em água é bastante susceptível ao transporte pela água das chuvas, com isso altera a fertilidade natural e o padrão espacial do solo. A erosão hídrica também afeta a capacidade produtiva do solo, uma vez que a profundidade é reduzida nas áreas erodidas ocasionando um menor desenvolvimento do sistema radicular e uma diminuição na capacidade de armazenamento de água (Gregorich et al., 1998). A profundidade do horizonte A variou de acordo com a posição do relevo em estudo desenvolvido por Heckrath et al. (2005), sendo em média: 0,24; 0,28 e 0,33 m nas porções altas, médias e baixas, respectivamente. Nas áreas de baixada, a profundidade do horizonte A, a produtividade (Gregorich et al., 1998; Schumacher et al., 1999; Wezel et al., 2002), os teores de COT (Liu et al., 2006), o P disponível (Zhang et al., 2006) e nitrogênio (Li & Lindstrom, 2001) são incrementados quando comparados às regiões de maior altitude.

A textura é um dos atributos mais estáveis do solo dependendo do material originário e dos agentes naturais de formação do solo, sendo pouco alterados pelo cultivo e outras práticas agrícolas. Contudo, a erosão diferenciada pode promover na camada superficial pequenas variações nas frações granulométricas (Vieira et al. 2007). As partículas do solo não são igualmente deslocadas pelas águas da chuva durante o processo erosivo (Basic et al., 2002), sendo as maiores facilmente desagregadas em um solo arenoso ou de textura média, porém mais resistentes ao deslocamento requerendo maior velocidade na enxurrada para serem transportadas a longas distâncias. Por outro lado, as partículas mais finas são mais difíceis de serem desagregadas pelo impacto das gotas de chuva, mas podem ser facilmente transportadas pelas enxurradas (Resende, 1985). Além disso, o transporte das partículas de areia, silte e argila são influenciadas pelo tipo de solo, relevo, inclinação, sistema de manejo, intensidade e duração das chuvas (Basic et al., 2002). Incrementos na concentração de argila e silte nas partes mais baixas foram encontrados em estudos desenvolvidos por Kosmas et al. (2001); Li e Lindstrom (2001). Entretanto, Mello et al. (2006) demonstraram em sua pesquisa que a

distribuição das frações granulométricas na paisagem varia de acordo com o tipo de solo.

O transporte e a conseqüente redistribuição das partículas de solo, nutrientes e MOS na superfície do solo pela erosão hídrica em sistemas de manejo tanto convencional como conservador têm contribuído para alterar a variabilidade espacial do solo.

2.2. Geoestatística no estudo da variabilidade espacial do solo

A variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo influência a eficiência do manejo das culturas e o seu desenvolvimento (Mello et al., 2005), sendo o seu conhecimento imprescindível no levantamento e classificação do solo, na avaliação da sua fertilidade, recuperação de áreas degradadas, definição de amostragem e práticas mais adequadas ao planejamento experimental e ao manejo dos solos.

O estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo tem demonstrado que essa variação não é aleatória (Eguchi et al., 2002; Souza et al., 2004; Andrade et al., 2005; Grego & Vieira, 2005; Schaffrath, 2006; Silva et al., 2007; Siqueira et al., 2008), comportando-se de forma diferenciada na paisagem (Souza et al., 1992).

O solo é um sistema heterogêneo que tem suas propriedades variando no espaço, entretanto, os métodos clássicos de estatística assumem que o valor médio em uma região amostrada equivale ao valor esperado em qualquer local não amostrado e que a variabilidade em torno da média é aleatória e independe da posição espacial dos valores amostrais (Trangmar et al., 1985).

A descrição quantitativa da variação espacial do solo é avaliada através da geoestatística que considera a estimativa não tendenciosa e a variância mínima dos pontos não amostrados, permitindo a construção de mapas de isolinhas, identificação de esquemas de amostragem mais eficientes (Queiroz et al., 1997) e avaliação do sistema de manejo adotado (Liu et al., 2006). A função utilizada como ferramenta geoestatística para descrever a dependência espacial de uma variável a partir de pontos amostrais é o semivariograma, expresso pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde:

$\gamma(h)$ - semivariância entre os pares de valores medidos para determinada distância h ;

h - distância entre valores medidos;

$N(h)$ - número de pares de pontos medidos $Z(x_i), Z(x_i + h)$;

Z - valor do atributo;

x_i - posição de determinado atributo.

O semivariograma é representado pelo variograma amostral que apresenta a semivariância em função da distância. O semivariograma é caracterizado por três parâmetros: o efeito pepita, patamar e alcance (Figura 1). O efeito pepita (C_0) está associado a erros de medição ou variação do atributo para distâncias menores que a considerada na grade de amostragem, enquanto que o patamar ou sill é o valor em que a semivariância tende a atingir um padrão constante e o alcance determina a região espacial até onde a variável é autocorrelacionada. Os valores superiores ao alcance indicam que os dados são independentes e a variação é aleatória (Miranda, 2005).

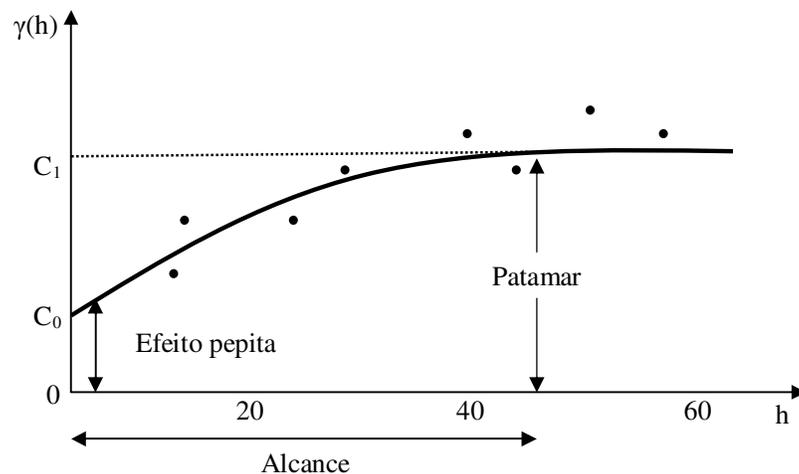


Figura 2. Desenho esquemático de um semivariograma experimental e seus parâmetros.

De acordo com Mendes & Cirilo (2001), para o estabelecimento da relação de dependência entre amostras é necessário o ajuste de alguma função matemática para o

semivariograma. Para tanto, são utilizados principalmente os seguintes modelos: esférico, exponencial e o gaussiano, os quais são apresentados a seguir:

- Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad 0 < h < a;$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a;$$

- Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{\left(\frac{-3h}{a} \right)} \right) \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

- Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{\left(\frac{-3h^2}{a^2} \right)} \right) \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

Sendo: $\gamma(h)$ é a semivariância, C_0 consiste no efeito pepita, C_1 é o patamar, a é o alcance e a distância entre os pontos é denominada de h .

Estes modelos podem ser ajustados em programas computacionais utilizados para a estimativa e modelagem de semivariogramas, como o Variowin, e que permitem a escolha do modelo a partir do índice de qualidade do ajuste (Anselin, 2003; Landim, 2004).

Os modelos mais utilizados para avaliar a variabilidade espacial das propriedades química e físicas do solo são: esférico, exponencial e gaussiano (Siqueira et al., 2008). Vários pesquisadores encontraram no exponencial o melhor ajuste para os dados de potássio (Montanari et al., 2005; Mello et al., 2006), carbono orgânico (Chaves & Farias, 2008), profundidade do horizonte A (Heckrath et al., 2005), silte (Eguchi et al., 2002; Vieira et al., 2007; Mendes et al., 2008). O esférico é ajustado de forma mais eficiente para as variáveis P (Sanchez et al., 2005), MOS (Souza et al., 2004), areia, argila (Mello et al., 2006; Campos et al., 2007), densidade do solo (Andrade et al., 2005;

Siqueira et al., 2008), enquanto que o gaussiano proporcionou uma maior qualidade de ajuste nos dados de Ca^{2+} , Mg^{2+} (Machado et al., 2007) e nas frações granulométricas (Souza et al., 2008).

Todavia, é importante que após a escolha do modelo e criação do semivariograma, a qualidade da estimativa gerada seja testada através de técnicas de validação (Mello et al., 2005). Assim, o semivariograma obtido durante o processo de análise do variograma pode descrever mais precisamente a variabilidade espacial dos dados, reduzindo os erros durante o processo de interpolação e possibilitando a geração de uma superfície contínua expressa através de mapas de isolinhas mais próximos da condição real (Siqueira et al., 2008).

A interpolação espacial é o processo de predição de uma variável em posições não amostradas podendo ser realizada através de diversos métodos, onde os mais comuns são: triangulação, inverso da distância, mínima curvatura, regressão polinomial e krigagem (Mendes & Cirilo, 2001).

No método de interpolação denominado de krigagem, atribui-se pesos aos pontos estimados de acordo com o semivariograma e a diferença entre os valores estimados e os medidos para o mesmo ponto é nula, não tendencioso e com variância mínima (Queiroz et al., 1997). Várias pesquisas têm demonstrado que a krigagem é um dos métodos mais utilizados na geoestatística devido ser não tendencioso e apresentar variância mínima justificando a sua maior precisão (Grego & Viera, 2005; Siqueira et al., 2008; Leão et al., 2007; Lima et al., 2007; Mendes et al., 2008). A partir da interpolação dos dados é possível obter mapas de contorno que permitem detectar melhor a variabilidade das propriedades do solo (Queiroz et al., 1997).

A distribuição espacial dos atributos químicos do solo tem sido estudada por diversos autores. Machado et al. (2007) verificaram que em Latossolo Vermelho o P disponível foi o elemento com maior coeficiente de variação (73%), enquanto que o K trocável e a MOS apresentaram valores de 27 e 26%, respectivamente. Por outro lado, Sanches et al. (2005), observaram em seus estudos que a variabilidade do solo medida pelo coeficiente de variação revelou três grupos, sendo alto para o P disponível, Ca e Mg (82 a 92%), intermediário para o K trocável e CTC (36 a 40%) e o grupo de menor variabilidade foi para a MOS, pH, areia e argila (7 a 25%).

De acordo com Silveira et al. (2000), os sistemas convencionais apresentam um padrão de distribuição espacial mais uniforme quando comparado a manejos com

constante aporte de matéria orgânica, como os sistemas agroflorestais que podem ser uma alternativa na preservação da variabilidade natural.

2.3. Os sistemas agroflorestais como uma alternativa sustentável

A crescente preocupação com os valores ambientais, econômicos e sociais das florestas, no cenário mundial, vem contribuindo para que ocorram mudanças significativas na forma de uso da terra, o que favorece a busca por sistemas produtivos sustentáveis. Neste sentido, estudos têm apontado os sistemas agroflorestais (SAF's) como uma alternativa sustentável para aumentar os níveis de produção, sobretudo na região semi-árida (Silva, 2006; Maia et al., 2007; Maia et al., 2008).

Os sistemas agroflorestais são formas de uso da terra, no qual árvores, arbustos, culturas agrícolas e animais são combinados e integrados em uma mesma área, de forma sequencial ou simultânea (Nair, 1993). A estrutura do SAF's é classificada quanto à natureza dos seus componentes em: agrissilvicultural, silvipastoril, e agrissilvipastoril. No sistema agrissilvicultural culturas agrícolas são combinadas com árvores, enquanto que no silvipastoril a terra é manejada com pastagem, animais e árvores. Já no agrissilvipastoril ocorre a integração de culturas agrícolas, com pastagens, animais e árvores (Daniel et al., 1999). Desta forma, estes sistemas visam a obtenção de benefícios resultantes das interações ecológicas e econômicas (Nair, 1993).

Os benefícios do manejo agroflorestal em relação ao cultivo convencional têm sido demonstrados em muitos trabalhos, sendo as principais vantagens destes sistemas: a ciclagem de nutrientes, aumento da biodiversidade, fauna do solo, aporte de matéria orgânica, formação de agregados mais estáveis (Carvalho et al., 2004), aumento do estoque de carbono no solo (Neves et al., 2004; Oliveira, 2006); maior produção de serrapilheira (Arato et al., 2003) e atividade microbiana (Assis Júnior et al., 2003), recuperação de matas ciliares (Silva, 2002), redução da densidade e resistência a penetração, aumento da porosidade do solo (Carvalho et al., 2004) e da capacidade de retenção de água (Silva, 2008), menores perdas de solo, carbono orgânico e nutrientes (Franco et al., 2002; Pomianoski, 2005).

Em estudos desenvolvidos na região semi-árida cearense, Aguiar et al. (2006) atribuíram as menores perdas de água e solo nos sistemas agroflorestais em relação aos convencionais, principalmente devido ao pouco revolvimento do solo, às práticas de raleamento e rebaixamento das árvores que proporcionam uma maior cobertura do solo diminuindo a dispersão e o araste das partículas de solo. As árvores, tendo um sistema

radicular mais profundo, conseguem absorver quantidades significativas de nutrientes do subsolo, favorecendo a ciclagem de nutrientes. Além disso, a poda ou morte das raízes superficiais aumenta o estoque de nutrientes disponíveis para as culturas nos sistemas de manejo do tipo agroflorestal (Young, 1999).

O estoque de carbono no solo tem sido estudado, principalmente nos sistemas de manejo agroflorestal e plantio direto. Em pesquisa desenvolvida por Neves et al. (2004), os SAF's apresentaram uma tendência de aumentar o estoque de C no solo com o passar do tempo, demonstrando a eficiência deste sistema em sequestrar carbono no solo. Neste sentido, Maia et al. (2007) verificaram que os sistemas agroflorestais na região semi-árida cearense proporcionaram incrementos de até 38% nos estoques de carbono quando comparados ao sistema convencional.

Diante destas vantagens, os sistemas de cultivos agroflorestais podem gerar níveis cada vez mais elevados de produtividade sustentada para satisfazer as necessidades das populações crescentes (Ouriques et al., 2006). Entretanto, os SAF's têm sido pouco difundidos na região Nordeste. Assim, é indispensável o desenvolvimento de pesquisas que avaliem a eficiência destes sistemas em reduzir os efeitos da erosão hídrica nos solos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área estudada

O estudo foi desenvolvido em área experimental localizada na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPc) da EMBRAPA (Figura 2). A Fazenda encontra-se situada no município de Sobral-CE, localizado na região semi-árida cearense, com coordenadas de 3° 41'S e 40° 20'W. O clima da região é do tipo Aw (Savana), segundo a classificação de Koppen, com temperatura média anual de 28°C e precipitação média de 759 mm ano⁻¹. Os solos da área em estudo apresentam manchas de Luvisolo Crômico Órtico típico e Luvisolo Hipocrômico Órtico típico (Aguiar et al., 2006) segundo classificação da EMBRAPA (2006).

3.2. Descrição dos tratamentos

Os sistemas agroflorestais que estão sendo estudados no CNPC desde 1997 são compostos de três subáreas cada um, integradas e destinadas prioritariamente, cada uma delas, à produção agrícola, à pecuária e à preservação da vegetação natural (caatinga). Estas subáreas correspondem, conforme a sua prioridade, respectivamente, às seguintes situações avaliadas: agrissilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV) e vegetação natural (VN). No entanto, está previsto para um destes sistemas a rotação das subáreas, ou seja, a subárea onde atualmente é conduzido o agrissilvipastoril será convertida em

silvipastoril, e esta, por sua vez, em vegetação natural, enquanto subárea de vegetação natural passará a ser o sistema agrissilvipastoril. Esta rotação estava prevista para acontecer com 7 anos após o início do experimento, porém isto ainda não ocorreu. No outro sistema não se prevê esta rotação de áreas, sendo denominado de fixo, enquanto o primeiro é denominado de rotativo. Além destas situações, outras foram selecionadas para este estudo, sendo: o sistema tradicional (TR) adotado na região, uma área de cultivo intensivo atualmente em pousio (CIP) e duas outras subáreas consideradas como condição natural: vegetação natural 1 (VN₁) e vegetação natural 2 (VN₂). A descrição detalhada de cada uma das áreas é realizada a seguir:

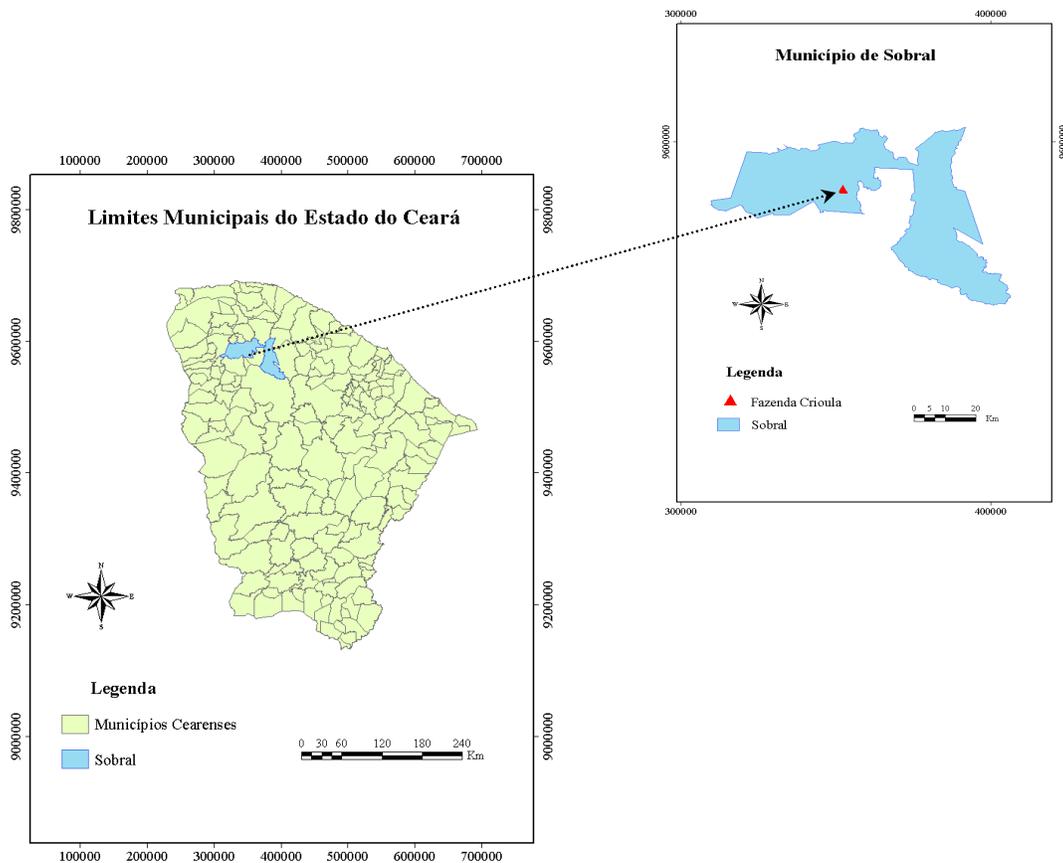


Figura 3. Localização da área experimental no município de Sobral-CE.

Agrissilvipastoril (AGP): subáreas de 1,8 e 1,7 ha que para a implantação do experimento (1997) foi submetida a um raleamento da vegetação natural preservando uma cobertura vegetal arbórea nativa de 22%. O material lenhoso restante foi enleirado

em cordões de 0,4 m de largura de forma perpendicular ao declive predominante na área. Não existe aplicação de fertilizantes químicos e o preparo do solo é realizado manualmente por uma enxada, nos primeiros anos, atualmente com cultivados e tração animal. A madeira útil, obtida a partir do raleamento, foi parcialmente retirada para uso doméstico na fazenda e a outra parte foi vendida. Durante o período chuvoso, a parte aérea da leucena e o material originado da poda da rebrota dos troncos e arbustos foram cortados e a massa verde incorporada ao solo. Nesta, a densidade arbórea mantida foi de aproximadamente de 150 árvores por hectare, ocorrendo predominantemente, espécies das famílias: Borreronaceae (56%) e Caesalpinaceae (22%), além das Papilionaceae, Cactáceae, Apocinaceae, Mimosoidea e outras. Anualmente, durante o período chuvoso, cultiva-se milho (*Zea mays*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) plantado em aléias, ou seja, faixas de 3,0 m de largura separadas por fileiras de leucena (*Leucaena spp*), implantadas com espaçamento de 0,5 m entre plantas, porém em 2007 e 2008 esta área foi cultivada somente com milho (*Zea mays*). No período seco, esta parcela é utilizada como banco de proteínas para um rebanho de 20 matrizes ovinas que permanece por uma hora diariamente pelo período da manhã, sendo todo o esterco recolhido do aprisco aplicado nesta área

Silvipastoril (SILV): subáreas de 5,2 ha, as quais tiveram sua vegetação lenhosa raleada e rebaixada, preservando uma cobertura vegetal arbórea de 260 árvores, ou seja, 38% da cobertura vegetal, aproximadamente. As espécies arbóreas preservadas são aquelas que têm folhas consumidas (pelos caprinos) somente quando fenadas, seguidas das não forrageiras, produtoras de madeira útil ou importantes para a ciclagem de nutrientes (sistema radicular pivotante). As espécies lenhosas, quando verdes, são forrageadas pelos animais e as espécies sem interesse econômico são controladas. Esta área é representada principalmente por espécies pertencentes às famílias Borreronaceae e Mimosoidea. Todo material proveniente do raleamento e rebaixamento das espécies arbóreas é incorporado ao solo.

Tradicional (TR): subárea que ocupa um total de 6,3 hectares divididos em cinco parcelas. A primeira foi submetida ao desmatamento no ano de 1997. Esta parcela foi cultivada com milho em 1998 e 1999 e em seguida, deixada em pousio. Após desmatamento e antes do cultivo todo o material vegetal existente na área foi queimado. No período seco, a forragem e os resíduos culturais da área cultivada são usados para suplementação alimentar de um rebanho de 10 matrizes ovinas. No segundo ano de cultivo da primeira parcela, a segunda parcela foi preparada de forma semelhante à

primeira, sendo cultivada em 2001, assim como em 2002. O sistema tradicional foi separado em TR₁ e TR₂ devido às diferentes condições de relevo, pois o TR₁ é composto por três parcelas com o predomínio de relevo plano enquanto que o TR₂ apresenta duas parcelas cujo relevo é predominantemente do tipo ondulado.

Cultivo intensivo em pousio (CIP): esta área possui 1,2 ha, tendo sido desmatada e queimada em 1997 e cultivada, sem nenhuma aplicação de fertilizante, com milho e feijão nos períodos de 1998 a 2002. Ocupa uma área adjacente a dos sistemas de produção agrissilvipastoril.

Vegetação Natural 1 (VN₁): área de caatinga nativa com 1,2 ha, sendo considerada como referência para o tratamento CIP. No período seco pode ser utilizada como piquete de manutenção dos animais e também como fonte de madeira. A cobertura arbórea da área VN₁ é constituída em média por 3.375 árvores por ha, havendo o domínio de apenas duas famílias, as quais representam mais de 82% do total observado, sendo estas: Borragonaceae (49%) e Euforbiaceae (33%). Segundo relatos, este local sofreu uma retirada de madeira há aproximadamente 15 anos, no qual não se sabe a intensidade desta intervenção

Vegetação Natural 2 (VN₂): área de caatinga nativa com 3,1 ha e uso semelhante a VN₁ que abrange as áreas de vegetação natural dos sistemas fixo e rotativo. Esta foi utilizada como referência para os tratamentos AGP, SILV, TR₁ e TR₂.

3.3. Georreferenciamento da área e classificação do relevo

Os limites da área estudada foram determinados por caminhamento e com auxílio do sistema de posicionamento global (GPS), utilizando equipamento da marca Garmin e modelo GPS map60CSx. As coordenadas foram inseridas no programa ArcGIS (ESRI, 2005) para a obtenção do mapa georreferenciado da área em estudo (Figura 3).

Posteriormente, foram alocados transectos, ou seja, uma linha imaginária no sentido Leste-Oeste nas porções inferior, média e superior das áreas estudadas. Estes transectos foram utilizados como referência para a coleta de amostras de solo, a partir de coordenadas pré-definidas para identificação dos pontos de coleta no campo, fazendo-se o uso do GPS. A altimetria foi determinada com auxílio de nível e mirra topográficos e o mapa de elevação da área foi gerado utilizando-se o programa Suffer 7.0.

O espaçamento adotado entre coletas foi definido de acordo com a condição topográfica encontrada no campo após inspeção visual. Assim, nas condições de relevo plano, a distância adotada para coleta de amostras e dados foi de 20 m, enquanto que em áreas com relevo suave ondulado a distância adotada foi de 10 m e em relevo ondulado, adotou-se o espaçamento de 5 m (Figura 4). Nos transectos demarcados foram coletadas 383 amostras de solo em dezembro de 2007, na profundidade de 0-5 cm.

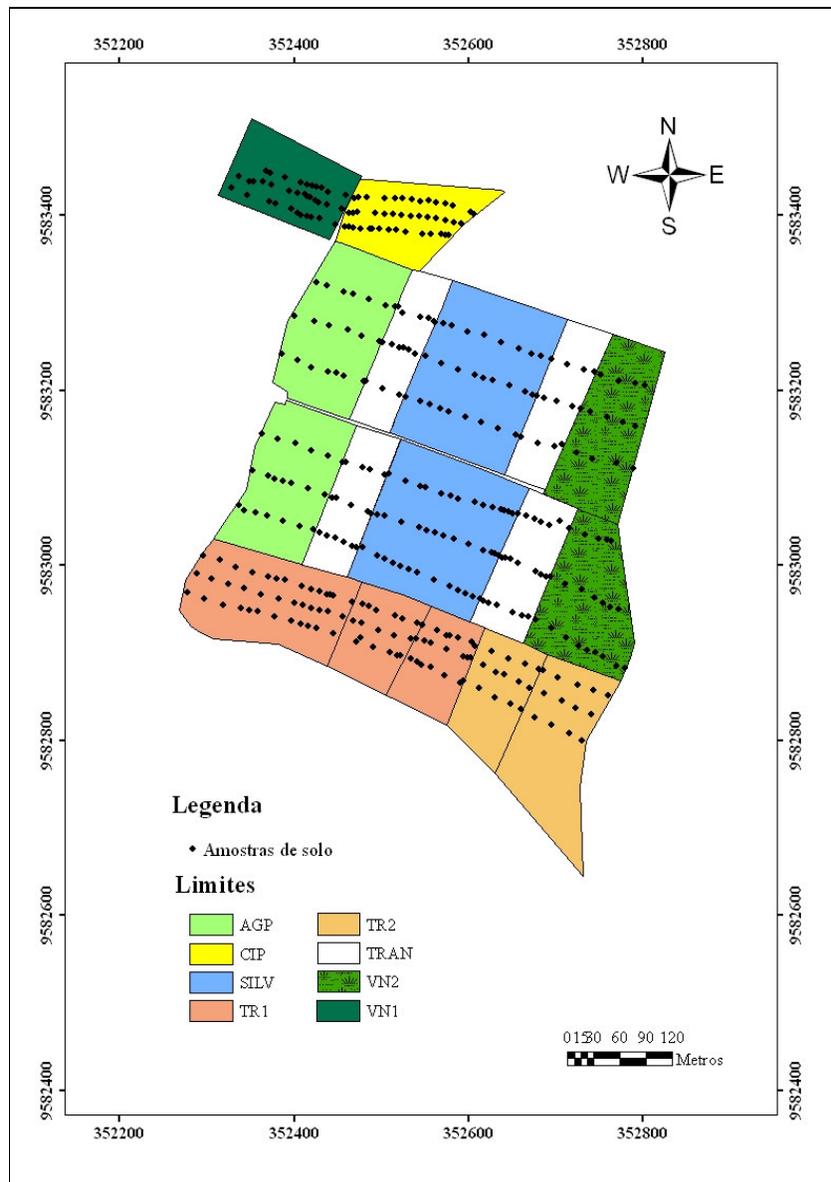


Figura 4. Área experimental e localização dos pontos de coleta nos sistemas de manejo agrissilvipastoril (AGP), silvipastoril (SILV), tradicional 1 (TR₁), tradicional 2 (TR₂), cultivo intensivo em pousio (CIP), vegetação natural 1 (VN₁) e vegetação natural 2 (VN₂) na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

A área foi também classificada espacialmente por faixas de declividade através da ferramenta “terrain slope” presente na função *calculus* do Surfer. As classes de declividade adotadas foram classificadas de acordo com Santos et al. (2005) em: Plano: superfície de topografia horizontal, onde as declividades são menores que 3%; Suave ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, constituída de declives suaves de 3 a 8%; Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, porém constituída de declives acentuados que variam de 8 a 20%.; e Forte ondulado: apresenta uma topografia movimentada, constituída de morros e declividades fortes com 20 a 45%.

As formas de relevo plano, côncavo e convexo foram também demarcadas utilizando-se o programa Surfer 7.0. Para tanto, utilizou-se o modelo digital de elevação do terreno obtido e calculou-se os parâmetros de curvatura com a ferramenta “profile curvature” da função *grid calculus* (Figuras 5 e 6). Estes resultados foram validados a partir da inspeção visual feita no campo, onde comparou-se a situação gerada através do modelo digital de elevação com a condição real.

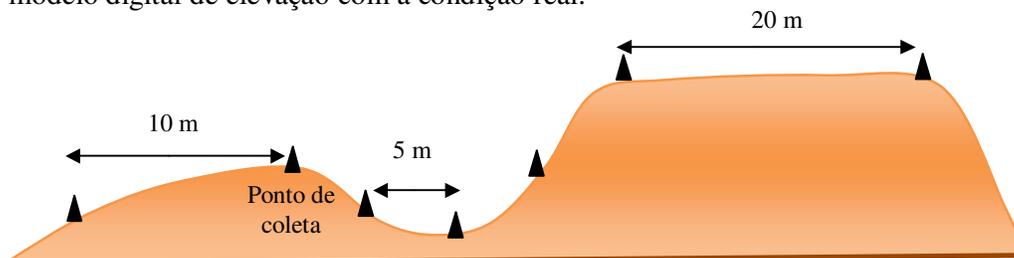


Figura 5. Perfil esquemático com as distâncias adotadas para a coleta de dados.

As classificações por faixas de declividade e forma de relevo indicaram que as áreas VN₁ e VN₂ apresentavam condições de relevo semelhantes ou próximas a dos tratamentos agroflorestal e convencional (Figura 5 e 6). Entretanto, o comportamento diferenciado entre as áreas de referência quanto à forma do relevo e a distância em relação aos tratamentos estudados permitiram definir a VN₁ como testemunha para o tratamento CIP e a VN₂ para as áreas AGP, SILV, TR₁ e TR₂.

3.4. Análises químicas e físicas de solo

As análises químicas e físicas realizadas foram: carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA), P disponível, Na⁺ e K⁺ trocáveis, areia, silte e argila. Determinou-se, também, a densidade do solo pelo método

do torrão, sendo os agregados necessários à análise separados previamente ao procedimento de destorroamento.

O teor de carbono orgânico total (COT) do solo foi obtido por oxidação da matéria orgânica com $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol/L em meio sulfúrico, conforme Yeomans & Bremner (1988), com fonte externa de calor, utilizando bloco digestor a 170 °C por 30 minutos. O excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) de 0,2 mol L⁻¹.

A extração do carbono orgânico solúvel em água (CSA) foi feita utilizando os princípios de agitação por 15 minutos a 120 rpm em agitador horizontal do tipo pendular e centrifugação a 2.500 rpm por 5 minutos. Em seguida, efetuou-se a filtragem para tubos de plástico de armazenamento com auxílio de papel de filtragem lenta. Posteriormente, retirou-se alíquota de 10 mL, e utilizando tubos de digestão, procedeu-se a secagem completa em estufa de ventilação forçada a 65°C (Bartlett & Ross, 1988). No extrato obtido foi determinado o teor de carbono orgânico conforme Yeomans & Bremner (1988).

O carbono orgânico particulado (COP) e o associado à fração mineral (COM) foram determinados nas frações areia e silte+argila, respectivamente, separadas através da dispersão química com NaOH e mecânica pela agitação por 12 horas a 120 rpm em agitador horizontal do tipo pendular. Após este período o material foi passado em uma peneira de 0,053 mm para obtenção da fração areia, enquanto que a fração mais fina composta por silte e argila foi obtida com a coleta do material em suspensão. As amostras foram secas à temperaturas de 50°C por aproximadamente 48 horas e, em seguida, maceradas para a determinação do carbono orgânico particulado e associado de acordo com a metodologia de Yeomans & Bremner (1988).

O fósforo (P) disponível, K⁺ e Na⁺ trocáveis foram extraídos com o uso de 100 mL de solução extratora de Mehlich I (HCL 0,05M + H₂SO₄ 0,0125M) e 10 g de TFSA, agitados por 5 minutos, seguido de repouso por 12 horas de acordo com metodologia desenvolvida por Mehlich (1953) descrita pela EMBRAPA (1997). A determinação de P disponível foi feita por fotolorimetria com comprimento de onda 660 nm, enquanto as K⁺ e Na⁺ trocáveis foram determinadas por fotometria de chama.

A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão parafinado conforme descrito pela EMBRAPA (1997). Para tanto, torrões secos ao ar com aproximadamente 4 cm de diâmetro foram pesados e, em seguida, mergulhados em parafina por 3 vezes para uma perfeita impermeabilização. Após secagem, o torrão foi

novamente pesado e, em seguida, colocado em béquer de volume conhecido. Para a determinação do volume total do béquer, assim como do volume do torrão parafinado, utilizou-se bureta de 100 mL e água destilada. Para tanto, a referência utilizada para a obtenção do volume foi a eliminação da primeira gota pelo bico do béquer.

As frações de areia, silte e argila foram quantificadas pelo método da pipeta conforme metodologia descrita pela EMBRABA (1997). Amostras foram submetidas à dispersão química com NaOH a 1N e mecânica por agitação horizontal do tipo pendular por 12 horas a 120 rpm. Posteriormente, o material agitado foi transferido para proveta de 1.000 mL por tamizagem utilizando-se peneira de 0,053 mm, separando-se a fração areia. Completado o volume da proveta, agitou-se por 20 segundos e, após o tempo de repouso determinado conforme a Lei de Stokes, coletou-se alíquota de 25 mL para a determinação da fração argila, com auxílio de pipeta. Os materiais coletados foram levados para estufa de ventilação forçada a 105 °C por 24 horas e, posteriormente, pesados, obtendo-se os percentuais de areia e argila, sendo a fração silte determinada por diferença.

3.5. Determinação da profundidade do horizonte A

A espessura do horizonte A também foi avaliada nos mesmos pontos de coleta de amostras de solo, porém para cada tratamento estudado, 30% dos pontos de coleta foram utilizados para avaliar este parâmetro. Para tanto, estes locais foram pré-selecionados com auxílio de mapas de curvatura e declividade a fim de garantir a medição da espessura do horizonte A em condições de relevo plano, côncavo e convexo. Esta avaliação adotou como critérios as mudanças de cor avaliadas visualmente e com uso da caderneta de cores de Munsell e também pela possível mudança textural, avaliada pela resistência a penetração e pelo tato.

Nas áreas de vegetação natural a espessura do horizonte A foi em média de 8 cm nos locais de relevo convexo, 8 a 11 cm em áreas de forma convexa a plana, 11 a 14 cm nos locais planos e acima de 14 cm nas formas côncavas. Estes valores foram utilizados como referência para a geração de uma escala com intervalos de 0 a 8, 8 a 11, 11 a 14 e acima de 14 cm que permitiram classificar a área em erodida, pouco erodida, não erodida e de depósito, respectivamente.

3.6. Quantificação do estoque de carbono e nutrientes no solo

O estoque para as formas de carbono orgânico total, particulado e associado na camada de 0-5 cm foi obtida a partir da seguinte equação de acordo com Andréa et al. (2004):

$$Est = (Qnt \times Ds \times e) / 10 \quad (2)$$

Onde: Est = valor de carbono orgânico estocado na camada de 0-5 cm ($Mg \text{ ha}^{-1}$); Qnt = quantidade de cada variável no solo ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds = densidade do solo da camada estudada ($g \text{ kg}^{-1}$); e = espessura da camada estudada (5 cm) e 10 = coeficiente de conversão de unidades.

3.7. Índice de Manejo de Carbono

O Índice de Manejo de Carbono (IMC) foi calculado de acordo com Blair et al. (1995), porém adaptado conforme Diekow (2003), pela fórmula:

$$IMC = IEC \times IL \times 100 \quad (3)$$

Onde: IEC = índice de estoque de carbono e IL = índice de labilidade.

O índice de estoque de carbono (IEC), o índice de labilidade (IL), e a labilidade (L) foram calculados pelas fórmulas a seguir:

$$IEC = Ct / Cr \quad (4)$$

$$IL = Lt / Lr \quad (5)$$

$$L = CP / CA \quad (6)$$

Onde: Ct = estoque de COT no tratamento avaliado ($Mg \text{ ha}^{-1}$), Cr = estoque de COT na área de referência ($Mg \text{ ha}^{-1}$), Lt = labilidade da matéria orgânica do solo no tratamento avaliado, Lr = labilidade da matéria orgânica do solo no tratamento de referência, CP = estoque de carbono orgânico da fração particulada ($Mg \text{ ha}^{-1}$) e CA = estoque de carbono orgânico da fração associada ($Mg \text{ ha}^{-1}$).

3.8. Avaliação da massa de carbono, nutrientes e solo

Aos valores de massa foram obtidos considerando os teores da variável analisada, densidade do solo, variação da espessura do horizonte A em relação a área de referência. É importante destacar que a variação da espessura do horizonte A foi quantificada utilizando valores de referência encontrados nas áreas de vegetação natural para cada classe de declividade e curvatura do terreno.

$$A/R = (Qnt \times Ds \times \Delta e) / 10 \quad (7)$$

Onde: A/R = aumento ou redução da variável analisada ($Mg \text{ ha}^{-1}$); Qnt = quantidade de cada variável no solo ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds = densidade do solo da camada estudada ($g \text{ kg}^{-1}$); Δe = variação da espessura do horizonte A em relação a área de referência (cm) e 10 = coeficiente de conversão de unidades.

3.9. Análises Estatísticas

O comportamento geral das variáveis do solo foi avaliado primeiramente por meio das medidas descritivas: média, mediana, valores máximos e mínimos, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria. A distribuição de frequência dos dados foi analisada a fim de verificar se os mesmos apresentavam distribuição normal, para tanto foi aplicado o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) a nível de 5% de probabilidade.

Os dados de massa de solo apresentaram uma elevada variabilidade espacial que poderia comprometer a interpolação dos dados, por isso optou-se por eliminar algumas amostras do conjunto de dados a partir do valor normalizado conforme a seguinte equação:

$$V_n = \frac{x - \bar{a}}{s} \quad (8)$$

Onde: V_n consiste no valor normalizado, x é o valor da variável analisada, \bar{a} representa a média dos valores e s o desvio padrão.

Assim, os valores que apresentaram o valor normalizado abaixo ou acima de 2,0 foram eliminados do conjunto de dados.

A análise da dependência espacial foi realizada com o auxílio do software Variowin 2.21, no qual foi utilizada a indicação da qualidade do ajuste (IQA) para definir o modelo de melhor ajuste para cada semivariograma a fim de obter os parâmetros necessários a interpolação dos valores nos pontos não amostrados.

A definição do método de interpolação foi realizada a partir da validação dos valores estimados. Para tanto 20 amostras foram retiradas do conjunto referente aos dados de cotas, carbono orgânico total, fósforo disponível e areia. Após o processo de interpolação determinou-se o erro médio reduzido (EMR) e o erro absoluto (EA) de acordo com Mello et al. (2005) a partir das seguintes equações:

$$EMR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z(x_i) - \hat{z}(x_i)}{\sigma(x_i)} \quad (9)$$

$$EA = \hat{z}(x_i) - z(x_i) \quad (10)$$

Em que: EMR é o erro médio reduzido, $z(x_i)$ equivale ao valor observado no ponto 1, $\hat{z}(x_i)$ é o valor estimado para o ponto 1 e $\sigma(x_i)$ o desvio padrão dos valores estimados no ponto 1 e EA o erro absoluto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. A definição do método de interpolação

O desempenho dos métodos de interpolação foi avaliado a partir dos critérios de erro médio (EM), erro médio absoluto (EMA) e raiz quadrada do erro médio apresentados na Tabela 1.

O método de krigagem destacou-se por proporcionar o menor EM para os dados de cotas, COT, P disponível e areia. Os dados de areia apresentaram EM variando de 0,12; -0,15 e -0,28 nos respectivos métodos de interpolação krigagem, triangulação e IQD. Resultados superiores foram observados por Weirich Neto et al. (2006) quando avaliaram a variabilidade dos teores de areia do solo.

È importante destacar que o IQD para as variáveis cotas e COT e o de triangulação para os dados de P disponível e areia apresentaram o segundo menor erro médio. A variação entre os métodos de triangulação e IQD podem ser justificados pelo fato do EM tender a ser menor do que o próprio erro devido o confronto dos valores positivos e negativos, por isso deve ser utilizado apenas para revelar se os valores estimados estão abaixo ou acima da média (Mardikis et al., 2005).

O método de krigagem apresentou EMA de 0,98; 1,52; 0,48 e 1,19 para as variáveis de cotas, COT, P disponível e areia, respectivamente. O segundo melhor método foi o de triangulação com EMA de 1,40; 1,92; 0,69 e 1,49 enquanto que no IQD os erros foram de 1,73; 2,27; 0,71 e 1,19 (Tabela 1). Comportamento semelhante foi

constatado pelo RMSE, assim estes critérios apontam o método de krigagem como à técnica mais indicada para interpolar os valores de cotas e das variáveis químicas e físicas do solo em locais não amostrados. Mardikis et al. (2005) e Stefanoni & Hernandez (2006) verificaram que os critérios EMA e RMSE também apresentaram a mesma tendência quando compararam métodos de interpolação.

Tabela 1. Parâmetros de validação para os métodos de krigagem, inverso do quadrado da distância (IQD) e triangulação para os dados de cota, COT, P disponível e areia

Parâmetros	Métodos de Interpolação		
	Krigagem	IQD	Triangulação
	Cotas –(m)		
Média	102,11	102,88	101,56
EM ⁽¹⁾	0,23	0,24	0,26
EMA ⁽²⁾	0,98	1,73	1,40
RMSE ⁽³⁾	0,26	0,45	0,37
DesPad ⁽⁴⁾	6,43	3,79	6,26
	Carbono orgânico total – COT (g kg ⁻¹)		
Média	22,34	23,01	22,40
EM ⁽¹⁾	-0,35	-0,51	-0,40
EMA ⁽²⁾	1,52	2,27	1,92
RMSE ⁽³⁾	0,40	0,92	0,48
DesPad ⁽⁴⁾	4,95	4,07	4,59
	Fósforo disponível – P (mg kg ⁻¹)		
Média	11,87	12,99	11,46
EM ⁽¹⁾	0,34	-0,68	0,75
EMA ⁽²⁾	0,48	0,71	0,69
RMSE ⁽³⁾	1,29	1,44	1,42
DesPad ⁽⁴⁾	6,24	4,96	7,81
	Areia – (dag kg ⁻¹)		
Média	63,38	64,38	63,64
EM ⁽¹⁾	0,12	-0,28	-0,15
EMA ⁽²⁾	1,19	1,56	1,42
RMSE ⁽³⁾	0,95	1,16	1,02
DesPad ⁽⁴⁾	4,47	3,66	5,67

⁽¹⁾ EM: erro médio. ⁽²⁾ EMA: erro médio absoluto. ⁽³⁾ RMSE: raiz quadrada do erro médio. ⁽⁴⁾ DesPad: desvio padrão.

Mello et al. (2003) comparando os métodos de krigagem e IQD constataram que ambos apresentaram boa precisão, porém a krigagem proporcionou menores erros médios indicando este como o mais adequado para interpolação de parâmetros das equações de chuvas. Por outro lado, Weirich Neto et al. (2006) verificaram que para

teores de areia a técnica de triangulação apresentou o menor erro médio, sendo seguido pelo método de krigagem e inverso do quadrado da distância, respectivamente.

4.2. Formas de carbono orgânico total, particulado, associado e solúvel

4.2.1. Estatística descritiva

Os resultados referentes à análise descritiva para os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel (CSA) são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

O comportamento dos sistemas estudados foi analisado a partir da variação dos mesmos em relação às áreas de referência, permitindo avaliar se o sistema de manejo está promovendo perdas ou aumento de carbono e nutrientes. Neste sentido, as áreas SILV e AGP apresentaram perdas de 17 e 16% nos teores de COT quando comparado a área de referência VN₂. Comportamento semelhante, porém em maior intensidade, foi constatado nos sistemas de cultivo convencional, no qual foi identificadas reduções em torno de 40 e 29% nos teores de COT nas áreas TR₁ e TR₂ em relação a VN₂, enquanto que o CIP proporcionou perdas de 23% quando comparado a VN₁. Contudo, quando compara-se com o CIP, TR₁ e TR₂, verifica-se que o sistema AGP proporcionou aumentos de aproximadamente 41, 28 e 16%, respectivamente (Tabela 2).

Em 2002, Maia et al. (2007) verificaram, na mesma área experimental, que os sistemas AGP, TR e SILV proporcionaram reduções de COT em torno de 38, 35 e 4% em relação a VN₂, respectivamente, enquanto que o CIP apresentou 21%, neste caso, comparativamente a VN₁. Os estudos desenvolvidos por Nogueira et al. (2008a) em outubro de 2005 comprovaram que as reduções nos sistemas AGP foram de 33%, enquanto que no SILV e TR, as perdas de 30 e 42% nos teores de COT foram encontradas em relação a VN₂. Por outro lado, o CIP parece ter mantido uma condição de estabilidade, pois perdas de 21% também foram observadas neste período. Quando comparam-se os resultados obtidos nos estudos citados com os encontrados neste, verifica-se que os sistemas de manejo AGP e SILV estão promovendo menores perdas de COT ao longo do tempo, o que não ocorre no CIP, pois, apesar da área estar em pousio desde 2002, as perdas foram incrementadas em 2%, o que evidencia uma maior eficiência dos sistemas agroflorestais na conservação da matéria orgânica.

Os estoques de COT nos sistemas AGP e SILV foram de 24,7 e 22,4 Mg ha⁻¹ enquanto que na área VN₂, os estoques médios estiveram em torno de 27,4 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). Os sistemas convencionais TR₁, TR₂ e CIP foram os sistemas com menor potencial em estocar COT, considerando a condição natural, sendo de 16,7; 19,9 e 14,3 Mg ha⁻¹ os estoques médios observados nestas áreas, respectivamente, concordando com os resultados obtidos por Andrea et al. (2004) quando verificaram que sistemas de manejo conservadores armazenam mais carbono no solo. Na mesma área experimental, Maia et al. (2007) encontraram resultados semelhantes onde os sistemas agroflorestais promoveram um maior estoque de COT enquanto que a área de CIP apresentou estoque médio de 12,9 Mg ha⁻¹. Em um Cambissolo na região do Rio Grande do Sul, Sturmer et al. (2007) observaram resultados semelhantes para a mata nativa, porém a área de capoeira que está em pousio a 5 anos apresentou estoques de 19,9 Mg ha⁻¹, resultado este superior ao observado neste estudo para a área de CIP e que está em pousio a 6 anos aproximadamente.

Analisando a variação em relação à área de referência VN₂, verificaram-se perdas nos estoques de COT em torno de 39, 27, 16 e 10% nos sistemas TR₁, TR₂, SILV e AGP, respectivamente. A área de CIP também favoreceu reduções nos estoques de COT, sendo estas de 21% quando comparado a VN₁ (Tabela 3). Embora tenham sido observadas reduções nos teores e estoques de COT, comuns a todos os tratamentos em relação à condição natural, estas foram maiores nos sistemas agrícolas tradicionalmente adotados na região (TR₁, TR₂, e CIP). Em Latossolos da região de Minas Gerais, Neves et al. (2004) também verificaram que tanto os sistemas agroflorestais como os convencionais apresentaram reduções nos estoques de carbono orgânico total, sendo estas mais intensas na áreas agrícolas convencionais.

Os sistemas estudados, exceto o AGP, apresentaram perdas nos teores e estoques de carbono orgânico particulado (COP) quando comparado às áreas de referências. Os tratamentos TR₂, TR₁ e SILV apresentaram reduções nos teores de COP de 41, 26 e 22%, respectivamente em relação a VN₂. Entretanto, o CIP obteve uma perda de 13% quando comparada a VN₁. Por outro lado, quando comparou-se os sistemas de cultivo AGP e SILV com o CIP foram observados perdas relativas de 55 e 39%, respectivamente.

Tabela 2. Estatística descritiva dos teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Carbono orgânico total – COT (g kg ⁻¹)							
Média	16,72	21,83	28,27	27,86	20,26	23,78	33,70
Mediana	15,54	20,05	25,90	27,72	20,81	21,76	30,64
Mínimo	9,46	9,84	15,64	8,53	7,59	11,07	12,80
Máximo	27,22	55,78	58,80	58,92	41,52	37,80	81,04
CV ⁽¹⁾	29,84	43,15	34,35	32,95	35,84	28,19	42,92
Desvio Padrão	4,99	9,42	9,71	9,18	7,26	6,70	14,46
Assimetria	0,64	1,40	1,09	0,75	0,49	0,35	1,46
Curtose	-0,34	1,62	1,37	1,26	-0,17	-0,64	1,65
KS ⁽²⁾	0,11*	0,19*	0,13*	0,09*	0,09*	0,15*	0,16
Carbono orgânico particulado – COP (g kg ⁻¹)							
Média	4,55	5,20	10,08	7,47	7,12	5,69	9,61
Mediana	3,89	4,41	9,02	5,98	6,75	4,44	8,06
Mínimo	1,10	0,48	1,54	0,49	0,48	0,48	2,41
Máximo	11,60	13,43	30,75	24,57	24,35	18,90	22,98
CV ⁽¹⁾	53,62	65,57	60,30	76,43	65,73	76,97	50,68
Desvio Padrão	2,44	3,41	6,08	5,71	4,68	4,38	4,87
Assimetria	1,01	0,97	1,27	1,01	0,85	1,48	1,27
Curtose	0,50	0,21	1,60	0,61	1,28	1,80	0,89
KS ⁽²⁾	0,14*	0,19	0,14	0,15	0,08*	0,17	0,26
Carbono orgânico associado – COA (g kg ⁻¹)							
Média	12,17	16,63	18,19	22,03	13,13	18,44	24,89
Mediana	11,58	15,15	17,36	20,85	13,53	16,50	20,13
Mínimo	0,88	1,59	0,37	2,61	0,21	0,44	7,45
Máximo	34,62	53,24	55,75	59,85	33,30	35,38	72,66
CV ⁽¹⁾	53,32	67,82	62,50	59,73	58,65	46,65	62,64
Desvio Padrão	6,49	11,28	11,37	13,16	7,70	8,60	15,59
Assimetria	1,20	1,25	1,24	0,77	0,31	0,31	1,52
Curtose	1,98	1,99	1,83	0,50	-0,29	-0,43	1,72
KS ⁽²⁾	0,15	0,14*	0,13*	0,08*	0,07*	0,15*	0,24
Carbono solúvel em água – CSA (mg kg ⁻¹)							
Média	62,49	88,32	84,91	87,28	82,24	78,58	94,30
Mediana	65,89	83,53	86,40	80,23	85,21	80,05	92,57
Mínimo	33,41	37,43	39,62	15,67	33,84	38,31	61,57
Máximo	78,45	136,68	167,05	244,17	144,61	124,90	150,91
CV ⁽¹⁾	22,30	30,73	35,02	51,81	35,43	34,17	24,72
Desvio Padrão	13,94	27,14	29,74	45,22	29,14	26,85	23,31
Assimetria	-0,80	-0,08	0,61	1,38	-0,02	0,08	0,53
Curtose	-0,44	-1,11	0,11	1,60	-1,24	-1,32	-0,35
KS ⁽²⁾	0,15	0,15*	0,10*	0,13	0,16	0,14*	0,10*
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 2, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

O tratamento AGP destacou-se com uma média de $10,1 \text{ g kg}^{-1}$ enquanto que o CIP apresentou apenas $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ de COP (Tabela 2). Estes resultados foram superiores aos obtidos por Sturmer et al. (2007) quando observaram teores médios de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ em áreas onde a queima e o cultivo intensivo foi adotado, porém $9,27 \text{ g kg}^{-1}$ de COP em média foram observados nas áreas em que não foi utilizada esta prática.

Quanto ao estoque de COP, verificou-se que o AGP favoreceu incrementos de 6%, enquanto que perdas de 21, 25 e 39% foram observadas nas áreas SILV, TR₁ e TR₂, respectivamente, quando comparado a VN₂. Já no CIP observou-se uma redução de 27% em relação a VN₁ (Tabela 2). Estes resultados concordam com os obtidos por Nicoloso (2005) quando verificou que tanto as áreas sem pastoreio como as cultivadas com milho proporcionaram incrementos da fração particulada em relação ao campo nativo.

O maior incremento, tanto nos teores e estoques de COP no sistema AGP em relação às demais áreas estudadas, pode ser atribuído principalmente ao maior aporte de resíduos vegetais e à presença de gramíneas no sistema de cultivo, pois de acordo com Bayer et al. (2004), a matéria orgânica particulada é favorecida pela manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo. Oliveira (2008), estudando os compartimentos do carbono em Limoeiro do Norte-CE verificou que as maiores variações de COP ocorreram na camada mais superficial do solo, confirmando a dependência da fração particulada a adição e decomposição dos resíduos vegetais para a manutenção de seus estoques no solo. Bayer et al. (2004) encontraram tendência semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, quando verificaram que áreas submetidas ao plantio direto proporcionam incrementos de 37 a 52% no estoque de COP na camada de 0-20 cm quando comparado aos sistemas convencionais.

O teor médio de carbono orgânico associado (COA) foi de $17,92 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que a fração particulada apresentou uma média de $7,10 \text{ g kg}^{-1}$ nos tratamentos estudados. De acordo com Bayer et al. (2004) isto pode ser atribuído a elevada estabilidade do COA, pois a sua interação com a fração mineral e a localização no interior dos microagregados favorece uma maior resistência desta fração a mineralização.

A área SILV proporcionou uma redução 11% nos teores de COA, enquanto que no TR₂, AGP e TR₁ as perdas foram intensificadas para 26, 27 e 47% quando comparado a VN₂. A área de CIP também promoveu perdas, sendo estas de 27% em relação a VN₁ (Tabela 2). Os estoques de COA apresentaram um comportamento semelhante aos

teores, onde verificaram-se perdas de 7, 16, 21 e 44% nas áreas SILV, AGP, TR₂ e TR₁ comparativamente a VN₂. O sistema de CIP proporcionou uma redução de 22% no estoque de COA em relação a VN₁ (Tabela 3). Apesar do COA apresentar um avançado estágio de humificação, estabilidade química e proteção física pelos microagregados (Bayer et al., 2004), esta forma de carbono teve um efeito significativo, assim como no trabalho desenvolvido por Oliveira (2008) quando avaliou a influência do preparo do solo e do manejo da irrigação no estoque de COA em sistemas de manejo convencional adotados a mais de 10 anos.

Em contrapartida, Bayer et al. (2004) não observaram a influência da forma de carbono associada em sistema de plantio direto implantado à 6 anos, o que, de acordo com estes autores, ocorreu em função do pequeno período de tempo já que o COA, por apresentar uma ciclagem mais lenta, interação com a fração mineral do solo e formação de compostos organominerais, necessita de um tempo maior para que o sistema de manejo altere esta forma de carbono. Entretanto, é importante ressaltar que alterações intensas no reservatório da fração associada como ocorreram no sistema TR₁, podem comprometer a disponibilidade da fração mais lábil (COP) acelerando o processo de degradação do solo nestas áreas.

As variações nos estoques de COP e COA em relação a área de referência permitiram inferir que a fração mais lábil está sendo um pouco mais sensível aos sistemas de manejo, com uma variação média de 24%, enquanto que a fração associada apresentou uma variação de 22%. Estes resultados ratificam com os obtidos por Bayer et al. (2002); Bayer et al. (2004) e Eiza et al. (2005) quando maiores alterações foram observadas nos estoques da forma particulada. Estes autores ressaltam a importância do COP como indicador de qualidade de manejo, principalmente em curtos períodos de avaliação.

De modo geral, os sistemas agroflorestais apresentaram teores de CSA superiores aos sistemas convencionais, sendo de 87,28 e 84,91 mg kg⁻¹, médias observadas na áreas SILV e AGP. Resultados inferiores foram encontrados em estudo desenvolvido por Wendling (2007), quando observou teores de 44,7 mg kg⁻¹ em áreas onde os sistemas agroflorestais são adotados a aproximadamente 10 anos.

Tabela 3. Estatística descritiva dos estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)							
Média	14,03	17,82	24,74	22,97	16,79	19,90	27,40
Mediana	12,83	15,70	23,22	22,08	17,20	17,71	24,55
Mínimo	7,66	8,02	12,65	6,81	6,58	8,86	10,51
Máximo	24,28	42,98	63,63	52,19	35,17	31,69	63,63
CV ⁽¹⁾	31,16	48,60	43,85	33,84	35,96	29,37	43,63
Desvio Padrão	4,37	8,66	10,85	7,77	6,04	5,85	11,95
Assimetria	0,76	1,29	1,19	0,94	0,51	0,44	1,38
Curtose	-0,14	1,27	1,15	1,25	-0,03	-0,51	1,87
KS ⁽²⁾	0,15*	0,20	0,18*	0,10*	0,08*	0,17	0,17
Carbono orgânico particulado – COP (Mg ha ⁻¹)							
Média	3,82	5,23	8,36	6,17	5,89	4,75	7,82
Mediana	3,11	4,39	6,84	5,90	5,64	3,69	6,58
Mínimo	0,89	0,37	2,27	0,38	0,42	0,41	2,06
Máximo	9,72	10,95	30,35	18,79	19,37	16,42	18,36
CV ⁽¹⁾	55,26	52,96	52,48	75,43	64,76	77,68	51,50
Desvio Padrão	2,11	2,77	4,39	4,68	3,82	3,69	4,03
Assimetria	1,04	0,97	1,30	0,91	0,75	1,38	1,19
Curtose	0,48	0,19	1,02	0,22	0,88	1,63	0,53
KS ⁽²⁾	0,16*	0,18*	0,19	0,14*	0,08*	0,18	0,24
Carbono orgânico associado – COA (Mg ha ⁻¹)							
Média	10,67	13,59	16,38	18,19	10,89	15,47	19,58
Mediana	9,34	12,00	14,31	16,91	11,01	13,75	16,84
Mínimo	0,75	1,32	0,32	2,31	0,17	0,38	6,12
Máximo	30,88	41,03	57,05	51,88	27,98	31,04	57,05
CV ⁽¹⁾	52,79	67,89	70,79	60,62	59,02	48,15	62,78
Desvio Padrão	5,63	9,22	11,59	11,03	6,43	7,45	12,29
Assimetria	1,40	1,14	1,80	0,87	0,32	0,40	1,71
Curtose	1,46	1,34	1,37	0,93	-0,33	-0,29	1,45
KS ⁽²⁾	0,15	0,14	0,23	0,09*	0,07*	0,11*	0,24
Carbono solúvel em água – CSA (Mg ha ⁻¹)							
Média	52,49	71,83	69,59	72,32	67,97	65,53	76,27
Mediana	54,68	70,41	70,53	66,27	69,37	69,18	76,34
Mínimo	26,15	30,62	30,48	12,88	27,55	32,11	49,12
Máximo	71,01	113,32	110,47	211,66	115,52	107,24	115,39
CV ⁽¹⁾	23,58	30,59	24,11	54,15	34,74	34,14	24,07
Desvio Padrão	12,38	21,94	16,77	39,16	23,61	22,37	18,36
Assimetria	-0,70	-0,01	-0,12	1,51	-0,03	0,13	0,54
Curtose	-0,46	-0,90	0,23	1,87	-1,23	-1,18	-0,30
KS ⁽²⁾	0,12*	0,13*	0,10*	0,13	0,14	0,14*	0,08*
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 2, CIP: cultivo intensivo em pouso VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade

As áreas SILV, AGP, TR₁ e TR₂ apresentaram reduções de 7, 10, 13 e 17%, em relação à condição natural VN₂. A maior perda foi observada no CIP com 29% em relação à área VN₁ (Tabela 2). Por outro lado, quando observam-se os estoques de CSA na Tabela 3, verifica-se um comportamento semelhante aos obtidos pelos teores, onde os sistemas agroflorestais SILV e AGP favoreceram perdas de 5 e 9% enquanto que no TR₁, TR₂ e CIP estas perdas foram intensificadas para 5, 10 e 23%

O menor revolvimento do solo no sistema SILV pode ter causado um efeito aditivo nos teores e estoques de CSA. Por outro lado, o efeito inverso nas áreas AGP, TR₁, TR₂ e CIP favoreceram o aumento do contato com os microorganismos acelerando o processo de decomposição e as perdas desta forma de carbono.

O coeficiente de variação (CV) para os teores de COT, COP, COA e CSA foram, em média, 35, 64, 59 e 33%, enquanto que os estoques destas variáveis apresentaram um CV médio em torno 38, 61, 60 e 32%, respectivamente. Os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980) para classificar as variáveis do solo estabelece as seguintes classes: baixo $CV < 12\%$, médio $12 \leq CV \leq 60\%$ e alto $CV > 60\%$. De acordo com esta classificação, os teores e estoques de COT, COA e CSA apresentaram variabilidade média, enquanto que os teores e estoques de COP foram caracterizados com um alto coeficiente de variação.

Resultados similares quanto a variabilidade dos teores de COT foram obtidos por Souza et al. (2003) e Machado et al. (2007). Utilizando a mesma classificação para o CV, Chaves et al. (2008) verificaram que os estoques de COT na profundidade de 0-30 cm em áreas cultivadas convencionalmente com cana-de-açúcar apresentaram variabilidade média, assim como foi observado neste estudo. Entretanto, é importante destacar que o COP apresentou valores de coeficiente de variação superiores em 21% aos observados no COT. Neste sentido, Conceição et al. (2005) encontraram valores de coeficiente de variação para o COP superiores ou o dobro do COT. Nicoloso (2005) atribuiu à maior variação nos teores de COP a alta dependência dos resíduos vegetais que esta forma tem para manter este reservatório.

De maneira geral, as medidas descritivas e o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) indicaram que as variáveis estudadas seguem uma distribuição normal. Segundo Souza et al. (2004), a normalidade dos dados não é uma exigência do método de krigagem, apenas é conveniente que a distribuição não apresente curvas muito alongadas em virtude de um possível comprometimento das estimativas geradas pela krigagem.

4.2.2. Parâmetros dos semivariogramas

Os semivariogramas foram ajustados para uma melhor precisão dos parâmetros utilizados durante a interpolação dos dados. De acordo com o índice de qualidade do ajuste (IQA) verificou-se que o modelo esférico foi o que proporcionou um melhor ajuste para os teores de COT, COA e CSA. Por outro lado, os teores de COP foram melhores ajustados ao modelo exponencial (Tabela 4).

Os parâmetros ajustados para os estoques são observados na Tabela 5, onde verificou-se comportamento diferente do observado quanto aos melhores modelos definidos para os teores. As variáveis COT, COP e CSA foram melhores ajustadas ao modelo exponencial, enquanto que COA apresentou menor IQA quando ajustado ao modelo esférico. Várias pesquisas têm indicado o modelo esférico e o exponencial como os mais adaptados para descrever o comportamento das propriedades do solo (Tragmar et al., 1987; Sanchez et al., 2005).

A relação entre o efeito pepita e o patamar indica a dependência espacial das amostras, o que permite utilizá-lo como parâmetro para avaliar o grau de dependência espacial das áreas estudadas. De acordo com Cambardella et al. (1994), o grau de dependência espacial pode ser classificado em: forte para os semivariogramas que tem relação $\leq 25\%$, moderada quando está situado entre 25 a 75% e fraca quando $\geq 75\%$.

A avaliação para as formas de carbono estudadas indicou um alto grau de dependência espacial, o que evidencia a elevada variabilidade espacial na área estudada e que não é apenas aleatória. Por isso devem ser utilizadas técnicas de geoestatística para uma melhor obtenção e interpretação dos dados. Cambardella et al. (1994) ressaltam que quanto mais forte for a dependência espacial de um atributo do solo mais ele é influenciado pelas propriedades intrínsecas do solo. Machado et al. (2007), estudando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, verificaram que o COT apresentou uma forte dependência espacial concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Em contraposição, Sanchez et al. (2005) encontraram uma moderada dependência em Latossolos cultivados com café.

O alcance é importante no estudo dos semivariogramas, pois significa a distância máxima em que a variável está correlacionada espacialmente. Este parâmetro garante que todos os vizinhos dentro de um raio são tão similares que podem ser utilizados para estimar qualquer ponto em locais não amostrados (Machado et al., 2007). De modo geral, foi possível dividir as variáveis estudadas em dois grupos com

alcances próximos: o primeiro grupo foi formado pelo COT e CSA que obtiveram alcances variando de 10 a 80 m, o segundo composto pelo COA com alcances entre 10 a 110 m e o terceiro grupo com valores de 10 a 260 m que é constituído pelo COP.

Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Carbono Orgânico Total – (COT) g kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Esf	Exp	Exp	Exp	Gaus	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	2,60	11,00	2,76	0,84	1,06	9,68	6,30
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	21,30	110,00	92,00	81,48	51,94	44,00	205,79
Alcance	10,30	27,60	19,00	14,00	20,90	58,80	13,84
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	12,21	10,00	3,00	1,03	2,04	22,00	3,06
IQA ⁽⁴⁾	0,32	0,01	0,04	0,02	0,02	0,07	0,02
Carbono Orgânico Particulado – (COP) g kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Exp	Gaus	Gaus	Exp	Esf	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	0,48	0,60	0,37	19,79	0,22	1,71	0,24
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	6,00	11,04	35,52	22,25	21,78	19,00	20,40
Alcance	24,20	18,60	11,79	164,00	36,09	10,60	10,90
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	8,00	5,43	1,04	88,94	1,01	9,00	1,18
IQA ⁽⁴⁾	0,28	0,02	0,05	0,07	0,02	0,31	0,06
Carbono Orgânico Associado – (COA) g kg ⁻¹							
Modelo	Gaus	Esf	Gaus	Esf	Exp	Exp	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,40	11,60	27,30	1,80	0,59	21,59	7,19
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	35,30	130,00	96,93	176,39	59,00	72,00	240,00
Alcance	10,99	29,30	17,58	18,00	17,10	110,00	23,80
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	1,13	8,92	28,16	1,02	1,00	29,99	3,00
IQA ⁽⁴⁾	0,12	0,06	0,11	0,01	0,02	0,10	0,05
Carbono Solúvel em Água – (CSA) g kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Esf	Gaus	Exp	Esf	Exp	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	7,50	7,20	46,50	21,00	8,40	56,00	10,58
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	727,00	720,00	930,00	1979,60	840,00	700,00	519,40
Alcance	16,30	13,90	11,58	12,00	10,50	79,79	44,20
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	1,03	1,00	5,00	1,06	1,00	8,00	2,04
IQA ⁽⁴⁾	0,00	0,04	0,04	0,13	0,02	0,09	0,05

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ IQA: Índice de qualidade do ajuste.

Seguindo esta classificação os valores de estoques para as variáveis COT, COP e CSA integram o primeiro grupo com alcances de entre 10 a 80, enquanto que o COA foi enquadrado no terceiro grupo (10 a 260 m).

Tabela 5. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Carbono Orgânico Total-(COT) g kg ⁻¹							
Modelo	Exp	Gaus	Exp	Exp	Exp	Gaus	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,01	10,94	1,20	0,60	0,36	9,57	4,20
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	17,10	73,00	120,00	58,80	36,00	33,00	140,00
Alcance	12,59	24,79	24,70	12,00	19,00	64,90	18,20
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	0,04	14,99	1,00	1,02	1,00	29,00	3,00
IQA ⁽⁴⁾	0,01	0,03	0,08	0,02	0,02	0,07	0,01
Carbono Orgânico Particulado – (COP) g kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Exp	Exp	Exp	Exp	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,31	0,68	0,19	0,22	0,15	0,84	0,16
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	4,40	6,97	18,43	20,46	14,55	14,00	14,08
Alcance	24,30	20,00	20,89	10,00	37,99	9,60	18,19
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	7,00	9,68	1,03	1,08	1,03	6,00	1,14
IQA ⁽⁴⁾	0,00	0,01	0,03	0,15	0,01	0,01	0,05
Carbono Orgânico Associado – (COA) g kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Gaus	Exp	Esf	Esf	Gaus	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,31	9,13	0,41	7,20	16,74	1,50	43,40
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	26,35	83,00	41,00	120,00	51,30	150,00	132,99
Alcance	9,97	22,40	15,20	18,00	82,59	18,90	127,29
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	1,18	11,00	1,00	6,00	32,63	1,00	32,63
IQA ⁽⁴⁾	0,11	0,04	0,02	0,01	0,11	0,01	0,10
Carbono Solúvel em Água – (CSA) g kg ⁻¹							
Modelo	Exp	Esf	Esf	Exp	Exp	Exp	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	3,00	4,70	2,80	16,00	5,60	34,20	3,30
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	147,00	470,00	280,00	1488,00	549,00	490,00	303,59
Alcance	23,40	11,00	13,30	12,00	9,58	70,40	27,29
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	2,04	1,00	1,00	1,08	1,02	6,98	1,09
IQA ⁽⁴⁾	0,01	0,04	0,08	0,13	0,01	0,09	0,05

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ IQA: Índice de qualidade do ajuste.

Estes resultados permitem inferir que amostras coletadas em um raio menor que 10 m são espacialmente dependentes e podem ser utilizadas para estimar valores em pontos não amostrados. Recomenda-se, portanto, que amostras possam ser coletadas a cada 10 m para uma melhor precisão durante o processo de amostragem e obtenção dos dados.

4.2.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

A declividade e a curvatura do terreno podem influenciar no transporte, nas perdas e aumentos de nutrientes e matéria orgânica no solo.

Na área estudada observou-se que os valores de cotas variaram de 83 a 119 m. Entretanto, é importante destacar que as áreas SILV, VN₂ e TR₂ apresentam uma maior variação topográfica, observando-se os pontos mais elevados da Fazenda experimental nestas áreas. A declividade apresentou uma amplitude de 0 a 45% (Figura 5), predominando classes de 15 a 25%, o que, de acordo com Santos et al. (2005), caracteriza um relevo ondulado. As formas côncava, plana e convexa foram observadas em todas as áreas estudadas, com valores de curvatura do terreno agrupados em três faixas, onde valores abaixo de -0,0025 caracterizam áreas convexas, aqueles entre -0,0025 e 0,0025 indicam áreas planas e acima de 0,0025 indicam áreas côncavas (Figura 6).

O comportamento das áreas em estudo através dos mapas de isolinhas permite entender melhor o padrão espacial de distribuição das variáveis estudadas. Além disso, facilita a associação com os mapas de altitude e relevo, o que possibilita uma melhor compreensão da influência destes nos sistemas de manejo estudados. As distribuições espaciais dos teores e estoques de COT, COP, COA e CSA foi agrupada em faixas que variaram de 7 a 40, 0 a 18, 0 a 45 g kg⁻¹ e 40 a 150 mg kg⁻¹, respectivamente.

No tratamento AGP, a região norte apresentou o predomínio de maiores teores e estoques de COT e COA (Figura 7, 9, 11 e 13). Entretanto é importante destacar que manchas mais escuras caracterizam maiores estoques destas variáveis podem ser observadas na direção noroeste em regiões de relevo côncavo com declividades de 0 a 8%. Por outro lado, na direção sul onde também ocorre relevo do tipo côncavo, porém com declividades predominantes de 15 a 25% e altitudes mais baixas, isto não acontece. Os teores e estoques de COP tiveram a mesma tendência onde as maiores concentrações foram observadas na porção sul onde pode ser observado relevo do tipo convexo com declives de até 25%, regiões mais favoráveis a perda de matéria orgânica por ação dos agentes erosivos. Tais resultados indicam o potencial deste sistema na manutenção do reservatório de COP no solo (Figura 8 e 12). Na parte norte, cujas altitudes variam de 110 a 116 m, com forma convexa e declives de 0 a 25%, ocorrem os menores teores de CSA (Figuras 10 e 14). Já os dados de estoque para esta variável, devido a sua maior uniformidade, não foram possíveis de serem associadas ao relevo.

De um modo geral, as formas de COT, COP, COA e CSA na área SILV apresentaram a mesma tendência de distribuição dos dados quando avaliaram-se os mapas de teores e estoques. A variável COT apresentou uma maior concentração na parte mais elevada, situada na direção norte, onde, mesmo em declividades de 25 a 35% e relevo convexo, manchas mais intensas foram observadas. A distribuição espacial do COP e COA apresentou manchas mais escuras, distribuídas de forma aleatória na área, o que permite inferir que não existe nenhuma tendência quanto ao relevo (Figura 8, 9, 12 e 13). O tratamento SILV apresentou uma variabilidade espacial para os dados de CSA superiores às demais áreas estudadas, com o predomínio de faixas superiores às encontradas na VN₂, demonstrando a eficiência deste sistema quanto ao aporte e estoque desta forma de carbono. Contudo, é importante ressaltar que os maiores teores e estoques de COT, COA e CSA estão localizados na parte mais elevada, onde predominam as formas de relevo mais favoráveis às perdas por ação dos agentes erosivos.

O sistema TR₁ apresentou, na direção norte, os maiores teores e estoques de COT e COA, o que tende a ser incrementado à medida que aproxima-se do fundo do vale. Entretanto, na porção noroeste existem locais com declividades de 25 a 35% e relevo convexo que indicam as perdas destas formas de carbono. Para o COP verificou-se um comportamento diferenciado, onde, na direção oeste, ocorrem manchas bem definidas com maiores teores e estoques desta fração que estão associados a um relevo de menor altitude, enquanto que os pontos mais altos são marcados por manchas mais claras indicando uma possível perda de COP. Já o CSA apresentou o predomínio dos maiores teores e estoque na direção sul, porém suas faixas foram distribuídas de forma que não foi possível associá-las com o relevo. Nesta área também verificou-se uma faixa bastante uniforme, comuns ao COT, COP, COA e CSA, e que está situada na direção sudeste, com comportamento diferente do observado na área VN₂ e que possui uma maior variabilidade na distribuição dos dados.

Um comportamento bem definido foi observado na área TR₂, pois as formas de COT, COP, COA e CSA, tanto para teores como estoques, permitiram inferir uma tendência de incremento destas formas de carbono no sentido das extremidades norte-sul em direção a parte central, o que é característico de uma região de acúmulo por estar situado na parte mais baixa e de relevo côncavo. Para o CSA esta tendência também ocorreu no sentido nordeste a sudoeste. Estes resultados indicam que todas as formas de carbono estudadas neste sistema estão sendo transportadas pela ação dos agentes

erosivos para os locais de menor altitude, o que deve apontar a elevada susceptibilidade a degradação que este tratamento está sendo submetido. Além disso, mesmo com condições variadas de declividade e curvatura do terreno, este sistema apresentou uma uniformidade maior do que a observada na área de VN₂, indicando que o padrão uniforme depende não apenas do relevo, mas das práticas agrícolas adotadas.

A área de cultivo intensivo em pousio (CIP) apresentou uma maior uniformidade na distribuição dos dados de carbono em relação à área VN₁ e os tratamentos agroflorestais. Entretanto, verificou-se uma tendência de manchas mais escuras que caracterizam maiores teores e estoques de COT e COP na direção oeste, onde à medida que se segue na direção leste estes são diminuídos. Já para as variáveis COA e CSA não foi possível verificar esta tendência, porém o mapa de estoques do COA define melhor as perdas na parte mais elevada e de relevo convexo. O maior estoque de COA ocorreu nas regiões de menor altitude o que caracteriza o transporte desta fração mais resistente a desagregação por ser associada aos minerais de argila, pela ação dos agentes erosivos. Estes resultados podem ser explicados pela intensificação da erosão hídrica nesta área que favoreceu a perda do horizonte A aumentando a exposição do B textural e o transporte de argila para regiões de baixada.

Os mapas de teores e estoques do CSA apontam também uma movimentação desta forma de carbono mais lábil nas partes mais baixas, sobretudo a localizada na direção sudoeste, o que não aconteceu para nenhuma forma de carbono estudada na área de VN₁. Estes resultados indicam que o sistema de CIP apesar de estar em pousio desde 2002 ainda está promovendo o transporte de carbono a partir da forma mais lábil que é o CSA. Quando compara-se esta área com o SILV, verifica-se que, mesmo em condições semelhante de declividades (25 a 35%), o CIP manteve teores de COT, COP, COA e CSA inferiores aos encontrados no sistema SILV.

Em geral, a variável CSA apresentou uma tendência melhor definida quando associada às condições de relevo, demonstrando ser mais sensível ao transporte e por isso pode ser um indicativo mais eficiente dos efeitos da erosão na movimentação das partículas de solo. Além disso, os mapas de distribuição espacial referente aos teores e estoques de COT, COP, COA e CSA indicaram que os sistemas convencionais apresentam um padrão mais uniforme quando comparado aos agroflorestais. Tal resultado pode ser atribuído às práticas de manejo intensivas que tendem a aumentar os efeitos da erosão e a perdas das partículas de solo, enquanto que as práticas conservacionistas previstas nos SAF's priorizam a mínima interferência humana com o

objetivo de proporcionar um ambiente mais próximo da condição natural. Com isso, nas áreas mantidas sob cultivo tradicional devem ser adotadas práticas conservacionistas para acelerar o processo de recuperação destas áreas, visando evitar que estas perdas sejam intensificadas com o incremento da incidência das chuvas.

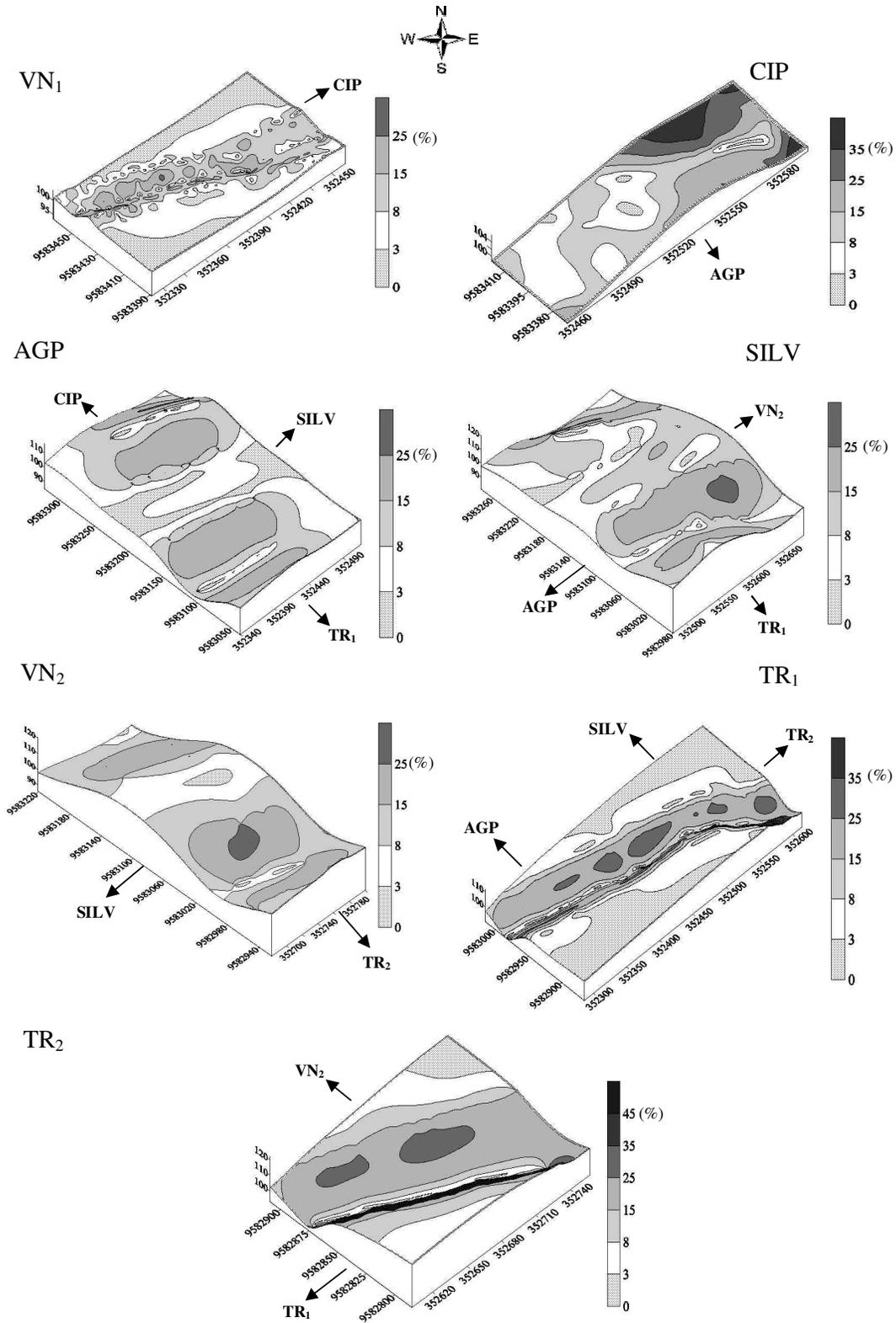


Figura 6. Variabilidade espacial das classes de declividade nos sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

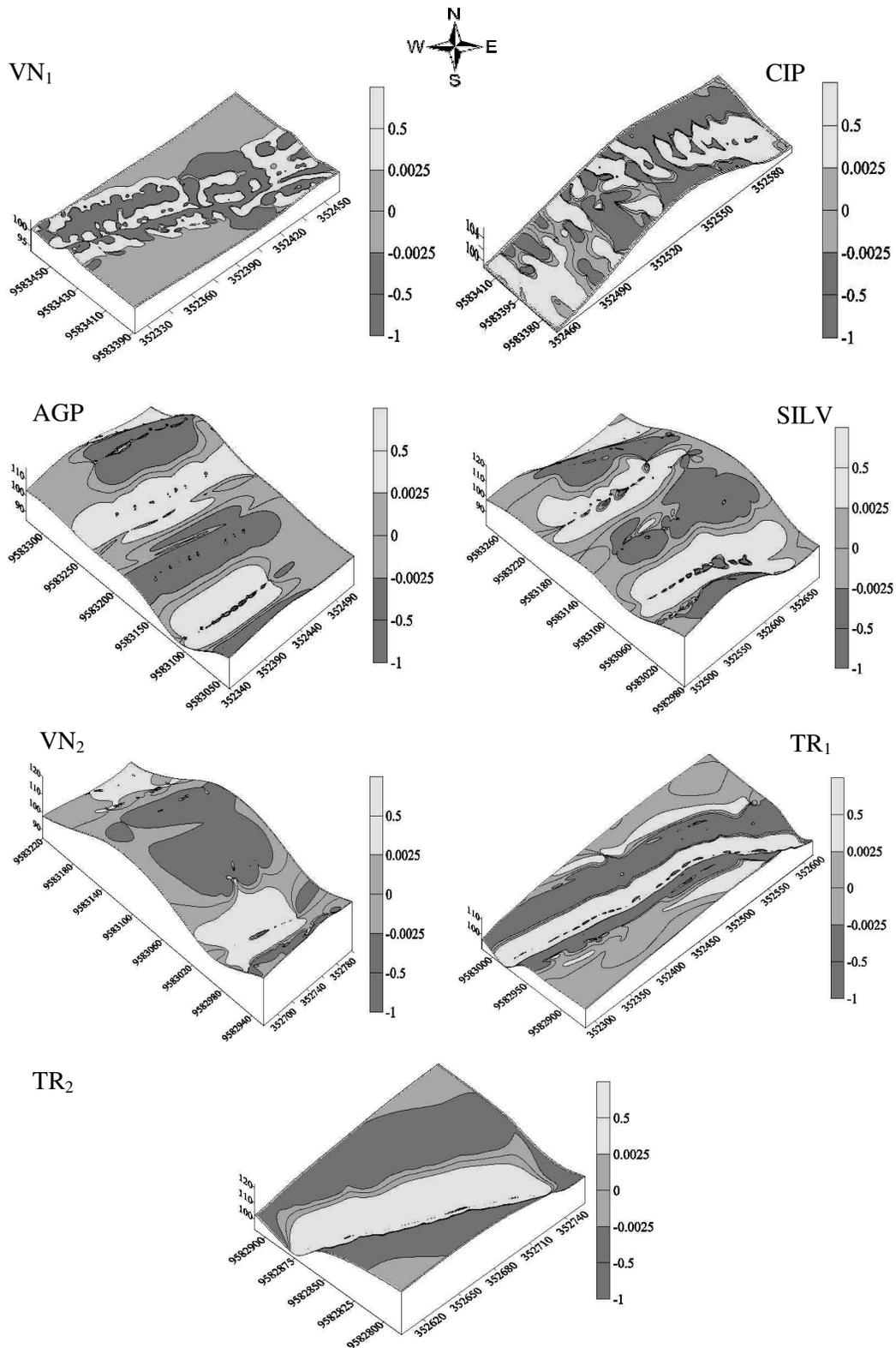


Figura 7. Variabilidade espacial da curvatura do terreno nos sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

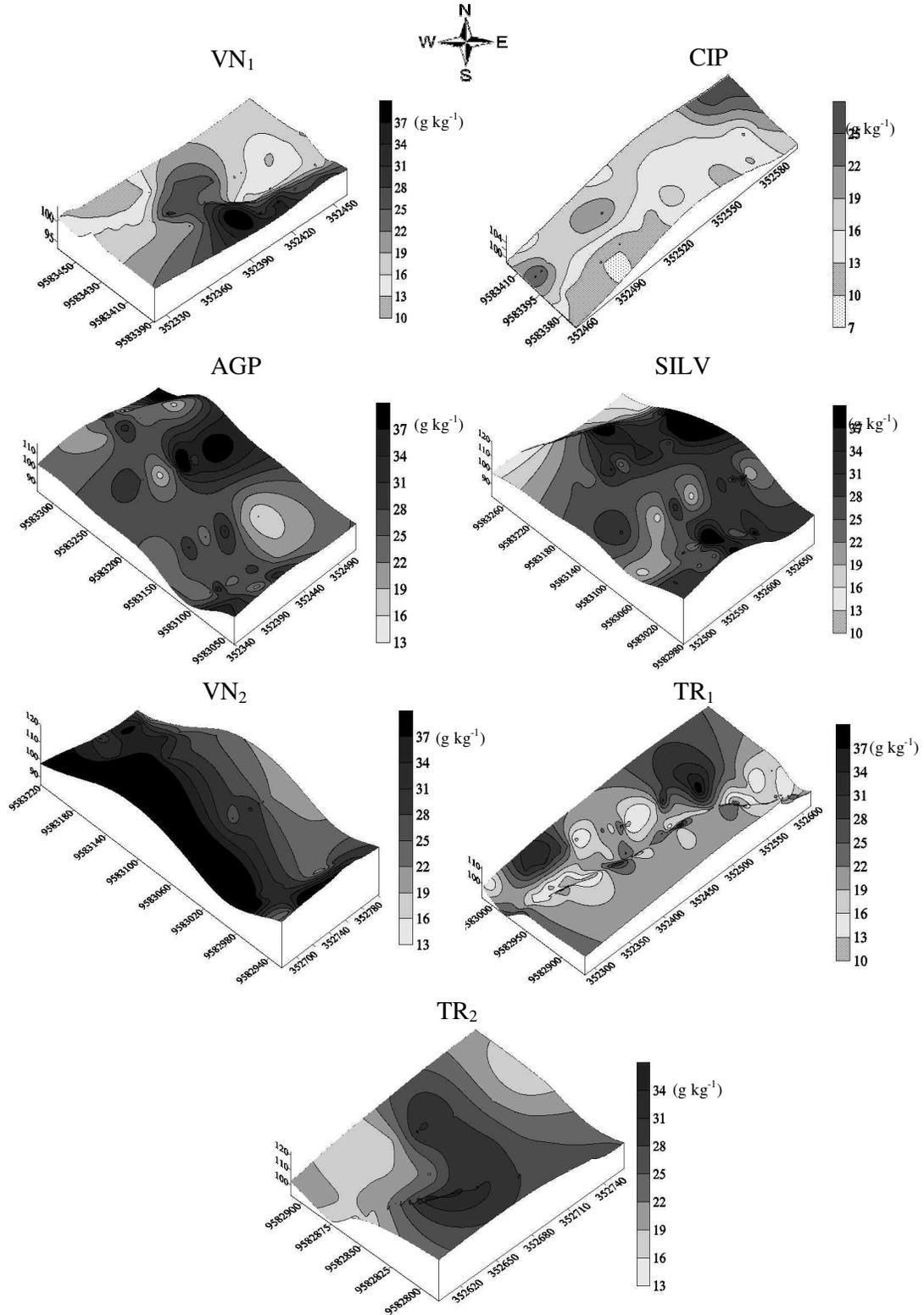


Figura 8. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico total (COT) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

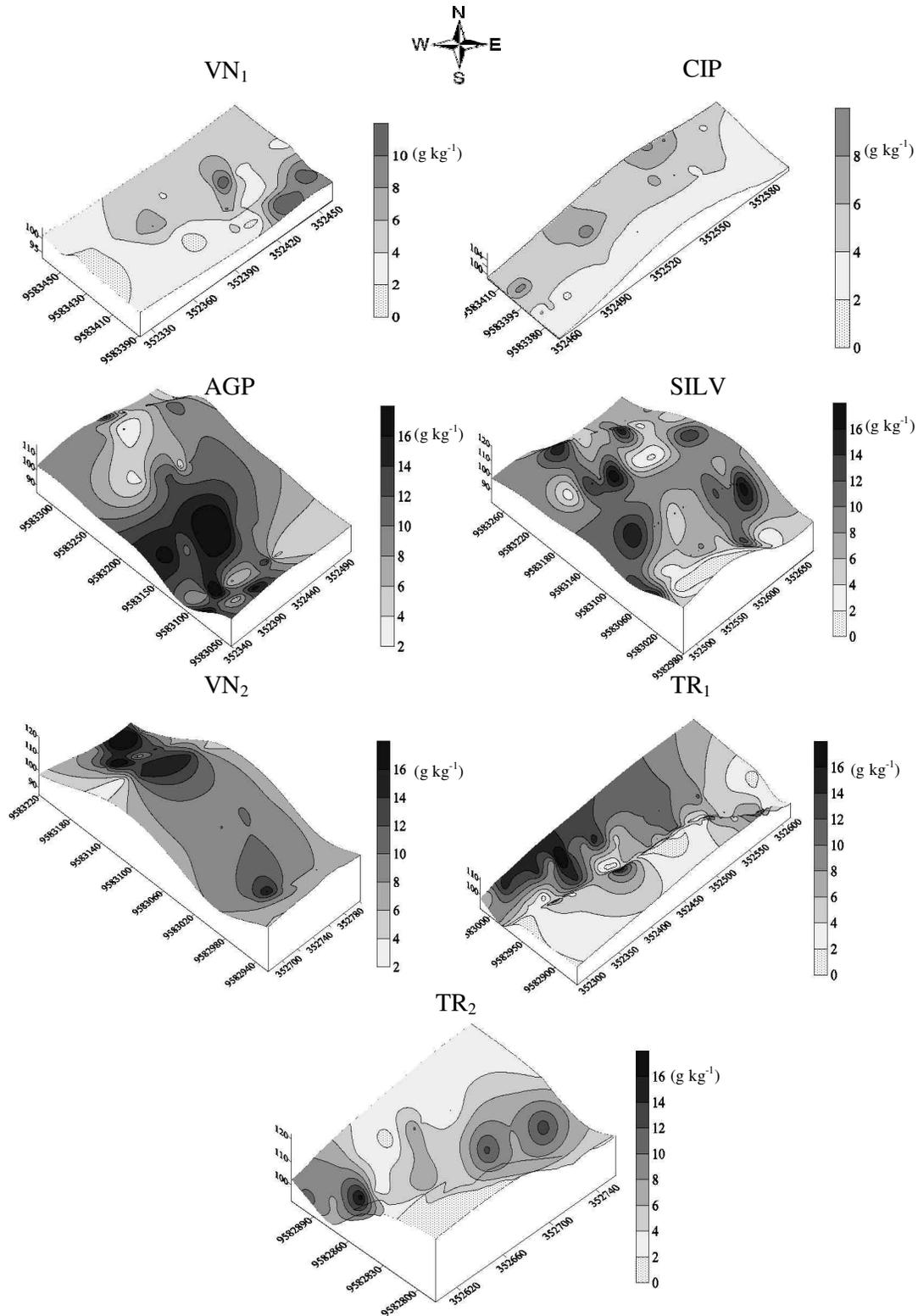


Figura 9. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico particulado (COP) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

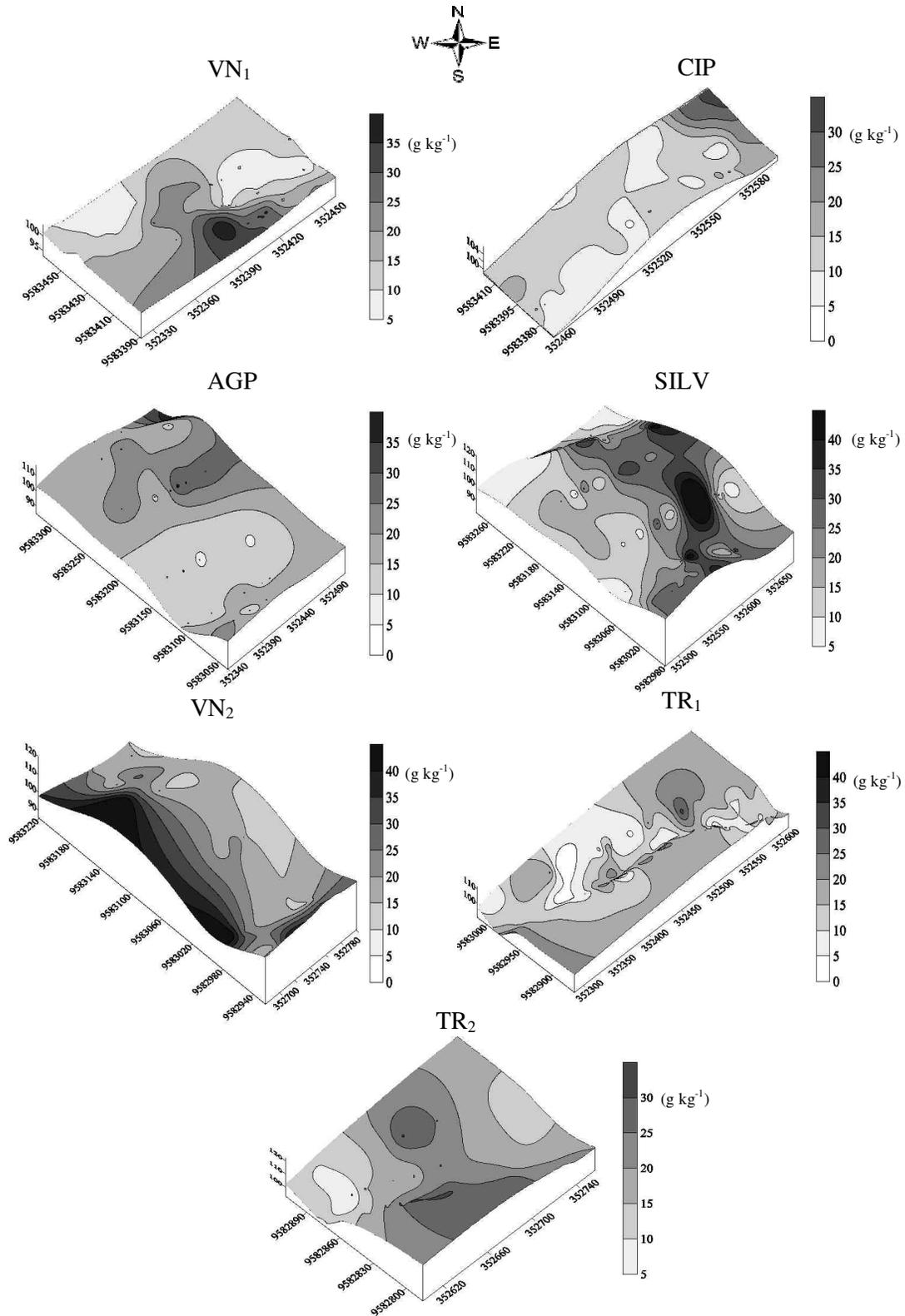


Figura 10. Variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico associado (COA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

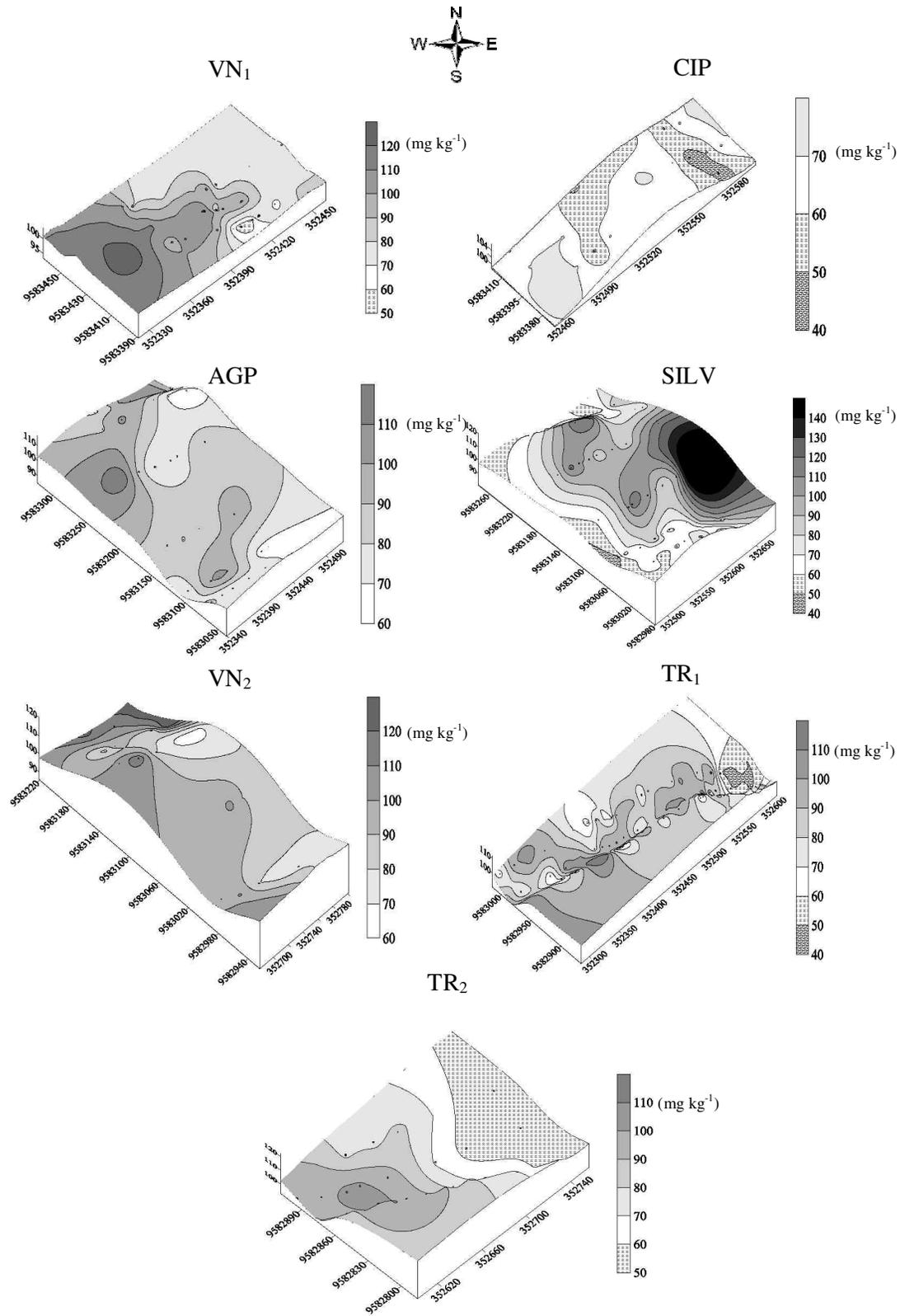


Figura 11. Variabilidade espacial dos teores de carbono solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

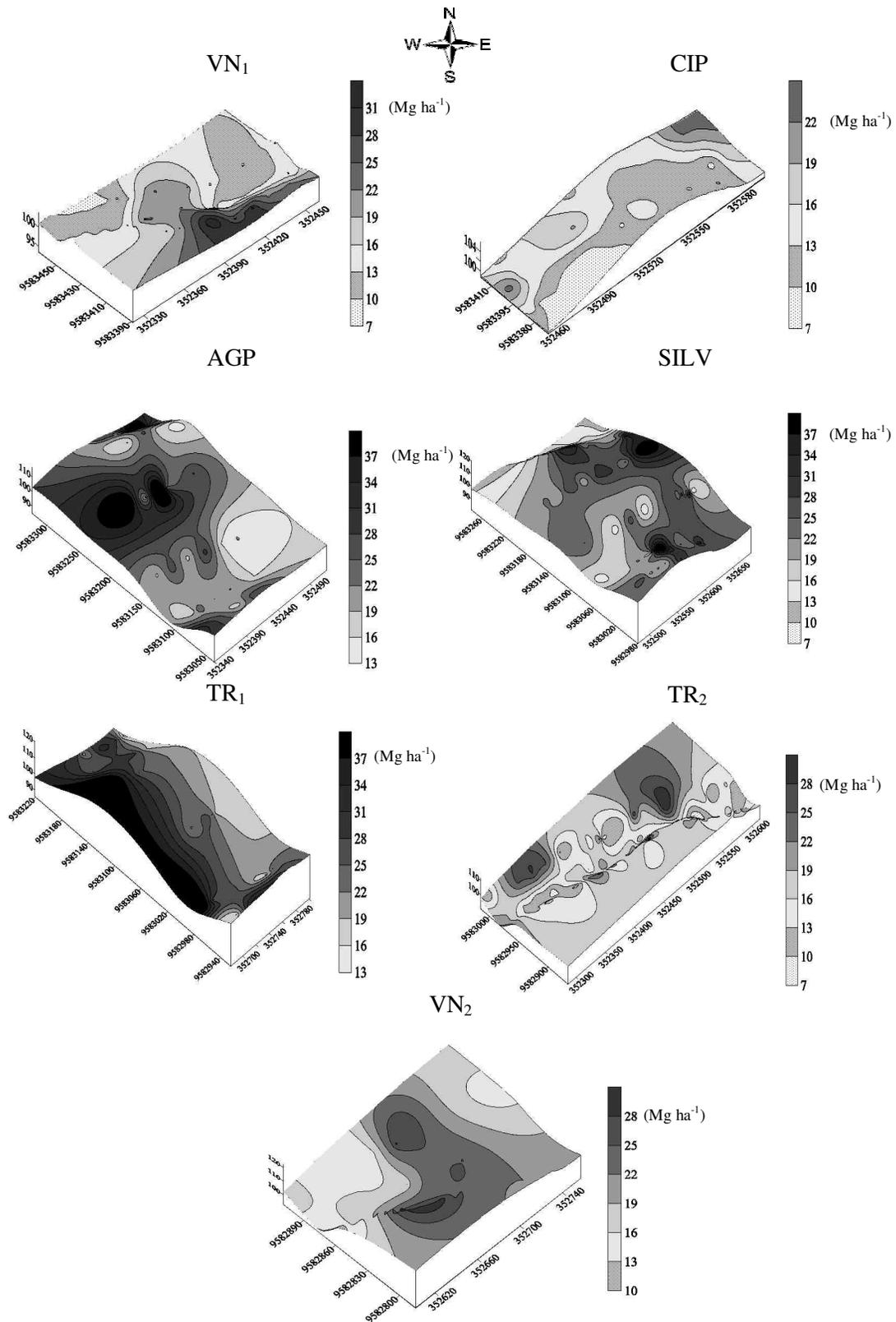


Figura 12. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico total (COT) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestral e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

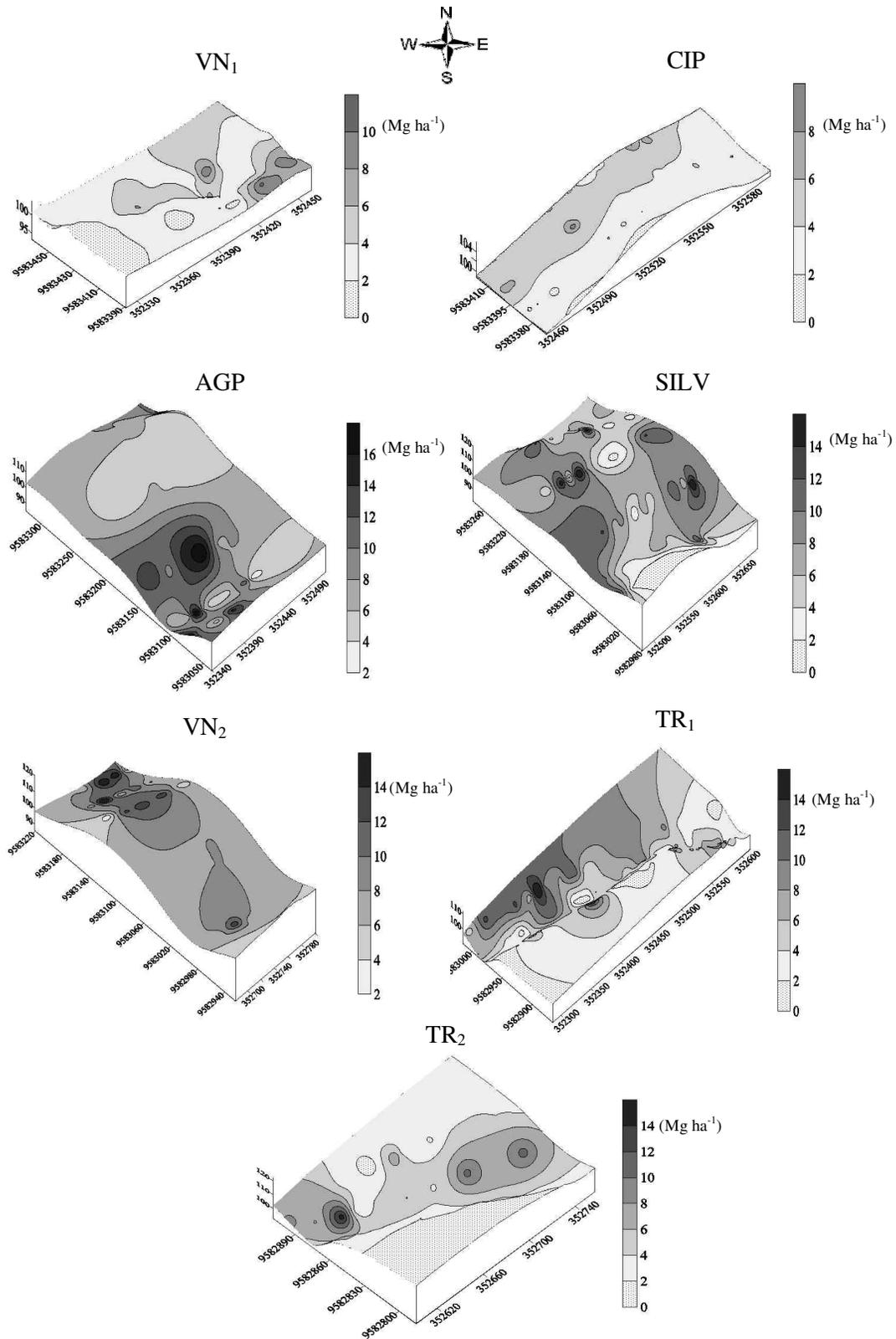


Figura 13. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico particulado (COP) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

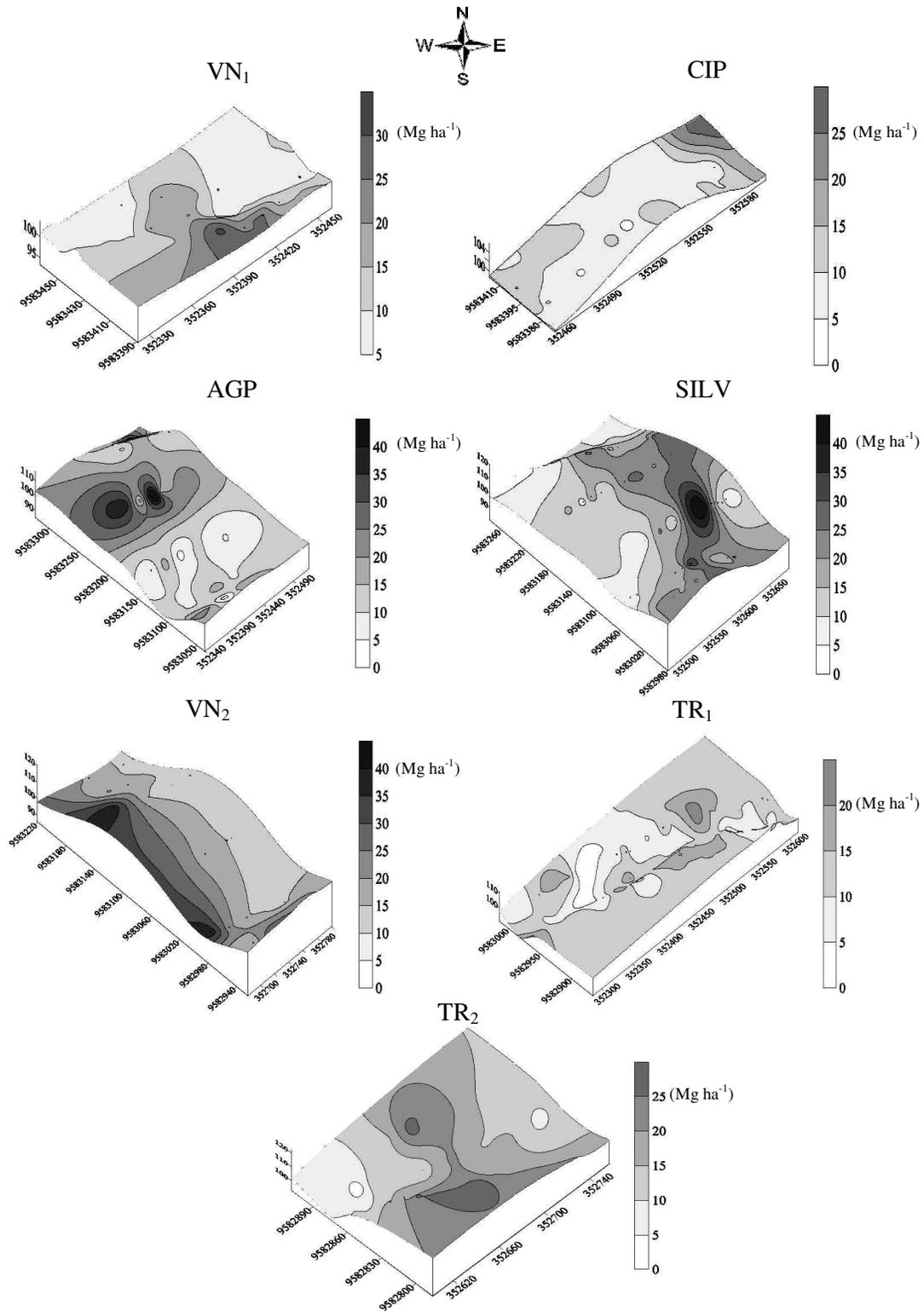


Figura 14. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico associado (COA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

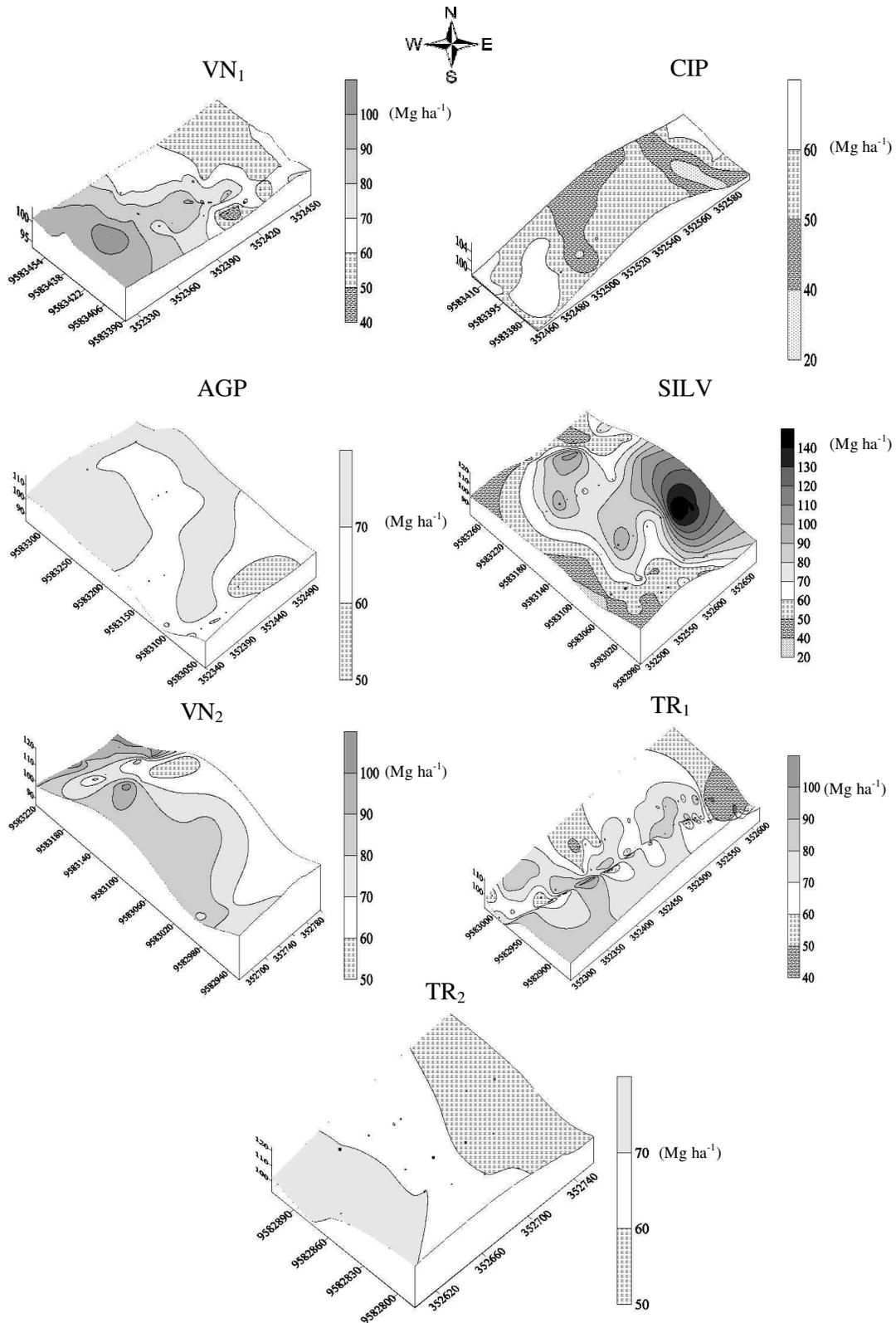


Figura 15. Variabilidade espacial dos estoques de carbono solúvel em água (CSA) em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.3. Análise das variáveis químicas do solo

4.3.1. Estatística descritiva

Nas Tabelas 6 e 7 observam-se os resultados das medidas descritivas para os teores e estoques de P disponível e K e Na trocáveis. Os sistemas agroflorestais apresentaram um comportamento diferenciado para o P, pois a área AGP proporcionou um incremento de 28% nos teores e 23% nos estoques de P disponível, enquanto que o SILV caracterizou-se por uma perda de 25 e 22% das mesmas variáveis, respectivamente, quando comparado a VN₂. Já os sistemas CIP, TR₂ e TR₁ apresentaram reduções nos teores de 1, 2 e 32% e nos estoques de 2, 11 e 30% em relação à condição natural (Tabela 6).

As áreas SILV e TR₁ apresentaram teores médios de Na trocável semelhantes à condição de VN₂, enquanto que o AGP e TR₂ favoreceram incrementos de 25% em relação a VN₂. O sistema CIP também proporcionou aumentos de 25% nos teores de Na quando comparado a VN₁ (Tabela 6). O AGP foi o único tratamento que apresentou valores de estoque de Na trocável semelhante à condição VN₂. Nas demais áreas estudadas observaram-se incrementos de 33% no estoque de Na no solo (Tabela 7).

Os teores médios de K disponível em todas as áreas estudadas foram inferiores a condição natural VN₂. Os sistemas TR₂, AGP e TR₁ proporcionaram perdas de 3, 9 e 9% para os teores deste nutriente, respectivamente. Quando avaliou-se o estoque de K disponível nestas áreas, verificou-se perdas de 2, 9 e 6%. Na área SILV, a redução nos teores e estoques foram de 22 e 19% em relação a VN₂ (Tabela 6 e 7). O sistema CIP favoreceu perdas de aproximadamente 18% nos teores e 15% nos estoques de K disponível quando comparado a VN₁. Por outro lado, quando comparou-se os sistemas agroflorestais com os convencionais verificaram-se incrementos de até 42% nos teores de K disponível.

O maior aporte de P disponível na área AGP pode ser justificado pelo manejo adotado, pois o aporte de material orgânico produzido no aprisco e mantido na área associado à poda das árvores e incorporação da parte aérea das leucenas podem ter aumentado os teores e estoques deste elemento no sistema.

Estudos desenvolvidos por Peneireiro (1999) demonstraram que os SAF's tendem a favorecer a ciclagem de P devido à diversidade de materiais que são depositados na superfície dos solos, além do sistema radicular das árvores, que ao absorvê-lo em camadas mais profundas, torna mais prontamente disponível às plantas,

favorecendo o incremento de P disponível nestes sistemas.

Tabela 6. Estatística descritiva dos teores de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	P disponível – mg kg ⁻¹						
Média	16,07	16,28	16,19	9,47	8,52	12,30	12,62
Mediana	13,92	10,27	14,32	8,32	6,86	11,48	9,98
Mínimo	3,12	2,93	2,58	1,84	2,39	3,11	2,02
Máximo	38,96	56,19	41,71	47,50	22,70	43,98	36,60
CV ⁽¹⁾	59,05	79,49	67,26	72,18	54,71	68,92	78,83
Desvio padrão	7,66	13,95	10,82	6,83	4,66	9,17	9,94
Assimetria	0,51	1,47	0,83	1,72	1,25	1,97	1,33
Curtose	-0,56	1,52	-0,50	1,85	1,25	1,95	0,68
KS ⁽²⁾	0,14	0,15	0,19	0,13	0,15	0,20	0,23
	Na trocável – cmolc kg ⁻¹						
Média	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
Mediana	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
Mínimo	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
Máximo	0,22	0,08	0,17	0,14	0,12	0,14	0,09
CV ⁽¹⁾	56,40	42,10	53,25	53,98	48,50	52,54	50,33
Desvio padrão	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Assimetria	1,53	1,34	1,22	1,62	1,46	1,79	0,90
Curtose	1,66	1,51	1,18	1,45	1,50	1,53	0,83
KS ⁽²⁾	0,14*	0,15*	0,21*	0,19	0,23*	0,18	0,17*
	K disponível – cmolc kg ⁻¹						
Média	0,41	0,50	0,71	0,61	0,71	0,75	0,78
Mediana	0,35	0,44	0,56	0,59	0,65	0,65	0,77
Mínimo	0,11	0,13	0,23	0,20	0,37	0,35	0,35
Máximo	1,20	1,48	2,02	1,25	1,76	1,43	1,25
CV ⁽¹⁾	55,59	57,58	56,60	42,42	35,86	38,59	31,16
Desvio padrão	0,26	0,29	0,40	0,26	0,25	0,29	0,24
Assimetria	1,15	1,13	1,56	0,66	1,63	0,78	0,03
Curtose	0,92	0,82	1,69	-0,04	1,61	-0,11	-0,66
KS ⁽²⁾	0,13*	0,20	0,20	0,09*	0,14	0,16*	0,09*
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

Os menores teores e estoques de P disponível no sistema SILV podem ser justificados pelo esterco produzido no aprisco ser distribuído na área AGP, favorecendo a transferência de parte dos nutrientes para esta área o que pode levar a redução no SILV, caracterizando a transferência de nutrientes do SILV para o AGP.

Tabela 7. Estatística descritiva dos estoques de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	P disponível - (Mg ha ⁻¹)						
Média	11,01	13,34	12,39	7,84	7,05	11,16	10,09
Mediana	11,64	8,62	8,71	6,96	5,73	9,67	7,02
Mínimo	2,49	2,38	3,09	1,47	2,04	2,60	1,74
Máximo	35,80	46,48	32,07	42,12	18,88	38,58	30,73
CV ⁽¹⁾	65,48	86,33	69,24	75,36	54,51	70,42	77,20
Desvio padrão	7,21	11,51	8,59	5,91	3,84	7,86	7,80
Assimetria	0,65	1,46	0,98	1,80	1,29	1,58	1,35
Curtose	-0,48	1,50	-0,41	1,64	1,44	1,47	0,88
KS ⁽²⁾	0,13*	0,23	0,24	0,14	0,15	0,19	0,24
	Na trocável - (Mg ha ⁻¹)						
Média	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
Mediana	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Máximo	0,11	0,07	0,15	0,11	0,11	0,12	0,07
CV ⁽¹⁾	58,82	46,13	66,67	52,24	45,52	51,61	49,58
Desvio padrão	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Assimetria	1,40	0,98	1,24	1,45	1,24	1,81	0,53
Curtose	1,91	1,21	1,30	1,29	1,21	1,62	-0,04
KS ⁽²⁾	0,22	0,20*	0,20	0,15*	0,22	0,20*	0,15*
	K trocável - (Mg ha ⁻¹)						
Média	0,34	0,40	0,57	0,51	0,59	0,62	0,63
Mediana	0,29	0,38	0,43	0,49	0,55	0,55	0,64
Mínimo	0,08	0,10	0,19	0,15	0,31	0,31	0,29
Máximo	0,70	0,73	1,78	1,06	1,53	1,10	1,05
CV ⁽¹⁾	57,76	50,78	58,76	42,93	35,64	37,80	33,07
Desvio padrão	0,19	0,20	0,33	0,22	0,21	0,24	0,21
Assimetria	0,67	0,75	1,87	0,55	1,82	0,65	0,12
Curtose	-0,77	-0,26	1,73	-0,21	1,94	-0,37	-0,55
KS ⁽²⁾	0,15	0,18*	0,20	0,08*	0,14	0,16*	0,13*
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade

A menor redução observada na área CIP quanto aos teores de P disponível e Na trocável, comparativamente ao TR, pode ser atribuída ao período de pousio em que esta encontra-se atualmente, pois o não revolvimento associado ao crescimento de plantas espontâneas favorece a cobertura da superfície do solo podendo contribuir para recuperação dos níveis de P disponível e Na trocável nesta área. Além disso, o predomínio do horizonte Bt na superfície que tem mais argila pode explicar a maior quantidade de nutrientes nesta área. Contudo, as perdas de 18% nos teores de K

disponível indicam que esta área ainda precisa de um maior tempo de pousio para apresentar condições mais próximas das áreas de referência.

Os coeficientes de variação (CV) para os teores de P disponível e Na e K trocáveis foram, respectivamente, de 69, 51 e 45%, enquanto que os estoques destas variáveis variaram, em média, em torno de 71, 45 e 53%, respectivamente. Cavalcante et al. (2007), avaliando a variabilidade espacial dos teores de K trocável em Latossolo Vermelho, encontraram em áreas sob plantio direto e convencional valores de CV próximos dos observados neste estudo, sendo estes de 42 e 39%, respectivamente.

De acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), os teores e estoque do Na e K trocáveis apresentaram média variabilidade, enquanto que os teores e estoques do P disponível foram caracterizados com alta variabilidade. Resultados semelhantes para o P disponível foram obtidos por Mello et al. (2006), enquanto que os autores Silva & Chaves (2001); Sanchez et al (2005) e Machado et al., (2007) encontraram valores de CV superiores aos observados neste estudo.

Apesar do coeficiente de assimetria e curtose predominante nos teores e estoques de P disponível e Na e K trocáveis terem apontado um pequeno desvio a direita, o teste de KS indicou que os dados de Na e K trocáveis seguem uma distribuição normal. Contudo, para os teores e estoques de P disponível, verificou-se que o teste KS não foi significativo para a maioria das áreas estudadas, o que pode ser atribuído a alta variabilidade encontrada para esta variável. Como a normalidade dos dados não é uma exigência para obtenção de estimativas pela krigagem (Souza et al., 2004), efetuou-se a interpolação sem nenhum processo de eliminação ou transformação do conjunto de dados referentes a variável de P disponível. Resultados semelhantes aos obtidos neste estudo quanto a distribuição de frequência para os teores de P disponível foram encontrados por Leão et al. (2007). Estudando a variabilidade espacial de atributos do solo sob diferentes usos, Cavalcante et al. (2007) verificaram que os teores de K seguem também uma distribuição normal.

4.3.2. Parâmetros dos semivariogramas

O modelo exponencial proporcionou os menores índices de qualidade do ajuste (IQA) para os teores de P disponível e Na trocável, enquanto que os teores de K trocável foram melhores ajustados ao modelo gaussiano (Tabelas 8 e 9). Os valores de

estoques das variáveis P disponível e Na e K trocáveis foram melhor ajustados aos modelos: exponencial, gaussiano e esférico, respectivamente.

Tabela 8. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os teores de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
P disponível – mg kg ⁻¹							
Modelo	Exp	Exp	Gaus	Exp	Exp	Esf	Gaus
C ₀ ⁽¹⁾	1,80	9,50	1,20	16,45	2,20	7,38	4,85
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	88,00	190,00	114,00	47,00	19,58	82,00	97,00
Alcance	27,00	5,90	30,40	200,00	28,49	8,00	21,70
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	2,05	5,00	1,58	34,99	11,24	9,00	5,00
IQA ⁽⁴⁾	0,01	0,25	0,01	0,01	0,01	0,39	0,06
Na trocável - cmol _c kg ⁻¹							
Modelo	Esf	Gaus	Exp	Gaus	Exp	Exp	Gaus
C ₀ ⁽¹⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcance	19,00	58,00	16,80	10,00	20,89	16,80	90,39
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	18,18	137,48	7,99	1,35	3,75	4,44	41,75
IQA ⁽⁴⁾	0,10	0,01	0,15	0,08	0,01	0,13	0,05
K trocável – (K) cmol _c kg ⁻¹							
Modelo	Gaus	Gaus	Gaus	Exp	Esf	Exp	Gaus
C ₀ ⁽¹⁾	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,07	0,08	0,17	0,07	0,06	0,08	0,06
Alcance	34,00	62,00	34,20	36,00	47,49	6,00	21,69
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	11,43	22,50	1,18	1,04	1,09	1,10	4,98
IQA ⁽⁴⁾	0,22	0,05	0,02	0,02	0,00	0,02	0,06

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

Os resultados obtidos para os teores de P disponível estão de acordo com Silva & Chaves (2001), entretanto, estes autores observaram que o modelo esférico foi o que proporcionou um melhor ajuste para os teores de K trocável.

A relação entre o efeito pepita e o patamar indicou o predomínio de uma forte dependência espacial, tendo destaque os teores e estoques de K trocável que apresentaram relações inferiores a 25% em todas as áreas estudadas. Estes resultados são semelhantes aos observados por Mello et al. (2006) em Latossolo Vermelho e apontam que a variabilidade espacial da maioria dos atributos químicos estudados está sendo mais influenciada por fatores intrínsecos do solo, tais como: material de origem, relevo, clima, organismos e tempo (Cambardella et al., 1994). Entretanto, isto não

ocorre nos sistemas SILV, VN₂ e VN₁, pois observou-se uma moderada dependência espacial para os teores e estoques de P disponível na área SILV e a dependência espacial, variando de moderada a fraco para o Na trocável nas áreas de referência. Tais resultados indicam que nestes tratamentos, as variáveis P disponível e Na trocável estão sendo mais influenciados por fatores extrínsecos do que os demais tratamentos.

Tabela 9. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os estoques de P disponível e Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
P disponível							
Modelo	Exp	Exp	Gaus	Esf	Exp	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	3,30	16,90	2,88	12,60	0,30	7,80	2,40
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	60,06	128,70	72,00	35,00	14,40	60,00	60,00
Alcance	20,69	10,00	19,00	156,00	26,60	11,80	23,10
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	5,49	13,13	4,58	36,00	2,08	13,00	4,00
IQA ⁽⁴⁾	0,02	0,18	0,06	0,07	0,01	0,30	0,03
Na trocável							
Modelo	Gaus	Gaus	Esf	Exp	Gaus	Gaus	Gaus
C ₀ ⁽¹⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcance	13,49	80,00	10,60	14,00	15,20	23,10	210,00
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	1,02	7,23	12,50	2,40	12,00	1,22	36,00
IQA ⁽⁴⁾	0,09	0,01	0,40	0,08	0,01	0,03	0,05
K trocável							
Modelo	Gaus	Gaus	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,05	0,06	0,12	0,05	0,04	0,07	0,05
Alcance	33,29	64,79	58,89	38,00	45,60	46,20	27,29
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	8,00	19,99	3,34	1,04	1,16	3,99	1,05
IQA ⁽⁴⁾	0,02	0,05	0,03	0,02	0,00	0,10	0,04

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

Comportamento semelhantes aos obtidos neste estudo para os teores de P disponível e K trocável também foram observados por Silva & Chaves (2001).

Os teores de P disponível e Na e K trocáveis apresentaram alcances de 10 a 200, 10 a 260 e de 10 a 62 m, respectivamente. Seguindo o mesmo padrão dos teores, os valores de estoques variaram de 9 a 156, 8 a 210 e 27 a 65 m em relação ao P disponível e Na e K trocável. Isto permite inferir que o espaçamento ideal para o procedimento de amostras do solo com intuito de realizar análises químicas é de 10 m.

Analisando a média dos dados de alcance neste estudo, verificaram-se para os teores de P disponível e K trocáveis alcances de 38 e 45 m. Resultados superiores, mas com tendência semelhante, ou seja maior alcance para o K em relação ao P, foram obtidos por Silva et al. (2008) em Latossolo Vermelho-Amarelo onde os teores de P e K apresentaram alcances médios de 86 e 142 m, respectivamente em áreas cultivadas com café e por Silva & Chaves (2001) em Alissolos. Por outro lado, Carvalho et al. (2002) e Cavalcante et al. (2007), avaliando a variabilidade espacial dos atributos químicos em Latossolos Vermelho, observaram alcances inferiores aos encontrados no presente estudo.

4.3.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

Os teores de P disponível e K e Na trocáveis foram agrupados em faixas de 2 a 42 mg kg⁻¹; 0,4 a 1,0 e 0,10 a 0,11 cmol_c kg⁻¹, respectivamente (Figuras 15, 16 e 17).

A área AGP apresentou, na região mais alta e de relevo convexo, os menores teores de P disponível (2 a 14 mg kg⁻¹). Porém, quando analisou-se os mapas de estoques, verifica-se um comportamento oposto (Figura 18). Além disso, manchas características de uma maior concentração de P disponível foram observadas na região onde ocorrem os maiores estoques de COT. Os maiores teores de Na trocável foram encontrados tanto na região mais elevada situada ao norte, como também na parte de menor altitude onde também ocorreram os maiores estoques de Na (Figura 16 e 19). Em relação ao K, observou-se que os teores e estoques tiveram a mesma tendência concentrando-se principalmente na direção leste (Figura 17 e 20).

A área SILV foi composta por baixos teores e estoques de P disponível e por uma maior uniformidade na distribuição espacial deste nutriente quando comparado a área VN₂. Este comportamento também foi encontrado por Nogueira et al. (2008b), em pesquisa desenvolvida na mesma área experimental. Quanto ao K e Na trocáveis, observou-se que as manchas com tons mais escuros e que caracterizam maiores teores e estoques predominam na região norte onde também encontrou-se os maiores estoques de COT. Associando os mapas de curvatura e declividade, é possível verificar que nos locais de relevo côncavo e de menor declividade não existe o predomínio dos maiores teores de Na e K trocáveis, pois quantidades semelhantes, ou até superiores, também podem ser observadas no relevo do tipo convexo. Entretanto, é importante destacar que

existe uma faixa com manchas mais claras onde predominam declividades de 15 a 35% o que está promovendo as perdas de Na e K trocáveis para locais de menor altitude.

O TR₁ apresentou um aspecto uniforme na distribuição espacial dos teores e estoques de P disponível em relação à área VN₂. Entretanto, na direção sul, onde ocorrem as mais baixas altitudes predominam manchas mais escuras de P disponível e Na e K trocáveis. Já na direção sul, onde o relevo possui cotas de 104 a 133 m e declividades de 15 a 35%, os teores e estoques destes nutrientes são reduzidos. Na área TR₂, os teores e estoques de P disponível e K trocáveis tendem a ser incrementados no sentido norte para a região central com menores altitudes, relevo côncavo e maiores concentrações de COT. Comportamento inverso ocorreu quando analisou-se o mapa de distribuição dos teores e estoques de Na, onde a região de menor altitude cujo relevo é do tipo côncavo, apresenta as menores faixas deste elemento.

Na área de CIP verificou-se na parte mais elevada, onde ocorrem declividades acima de 25%, teores e estoques de P disponível e K foram reduzidos, enquanto nas partes de menor altitude e que possuem relevo côncavo, situadas ao sul, observa-se uma pequena mancha com maiores concentrações destes nutrientes. Entretanto, existe uma tendência destes valores serem aumentados no sentido sudoeste, comportamento este também observado na condição de VN₁, porém com uma maior variabilidade espacial e com faixas que possuem teores e estoques mais elevados. Em relação ao Na trocável, observou-se que existem locais de acúmulo bem marcantes localizados nas extremidades norte e sul e que podem ser provenientes do local mais alto, pois possuem menores teores de Na, comportamento este diferente do observado na área VN₁.

Diante do exposto, verifica-se que o K e Na trocáveis foram os mais facilmente transportados pela ação dos agentes erosivos do que o P disponível, sobretudo na área de CIP, onde observou-se uma maior alteração na distribuição espacial em função do relevo. O padrão uniforme mais intenso foi observado nas áreas TR₁ e SILV para os teores de P disponível, enquanto para as variáveis Na e K trocáveis os tratamentos estudados apresentaram variabilidade espacial similares.

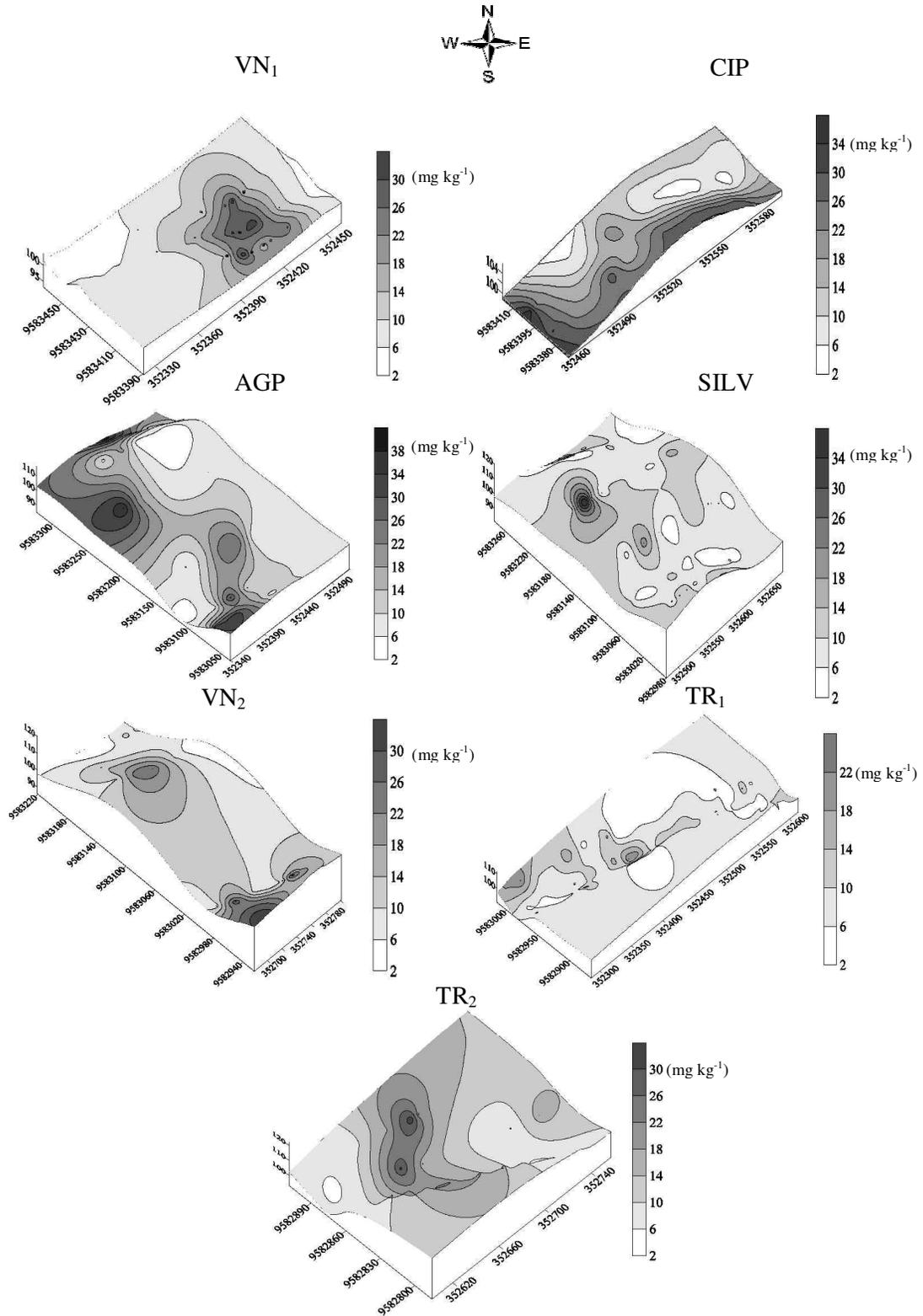


Figura 16. Variabilidade espacial dos teores de P disponível em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

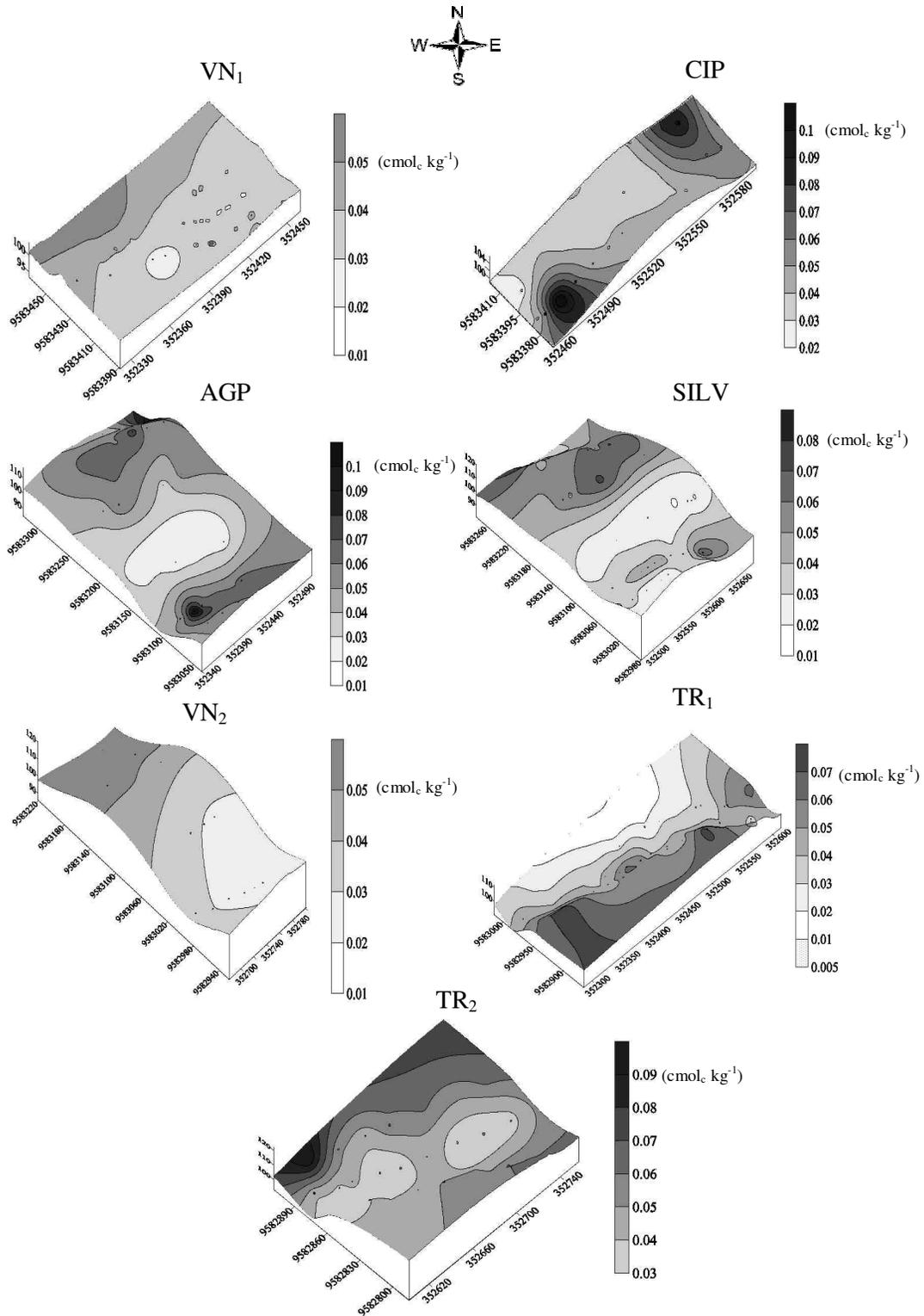


Figura 17. Variabilidade espacial dos teores de Na trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

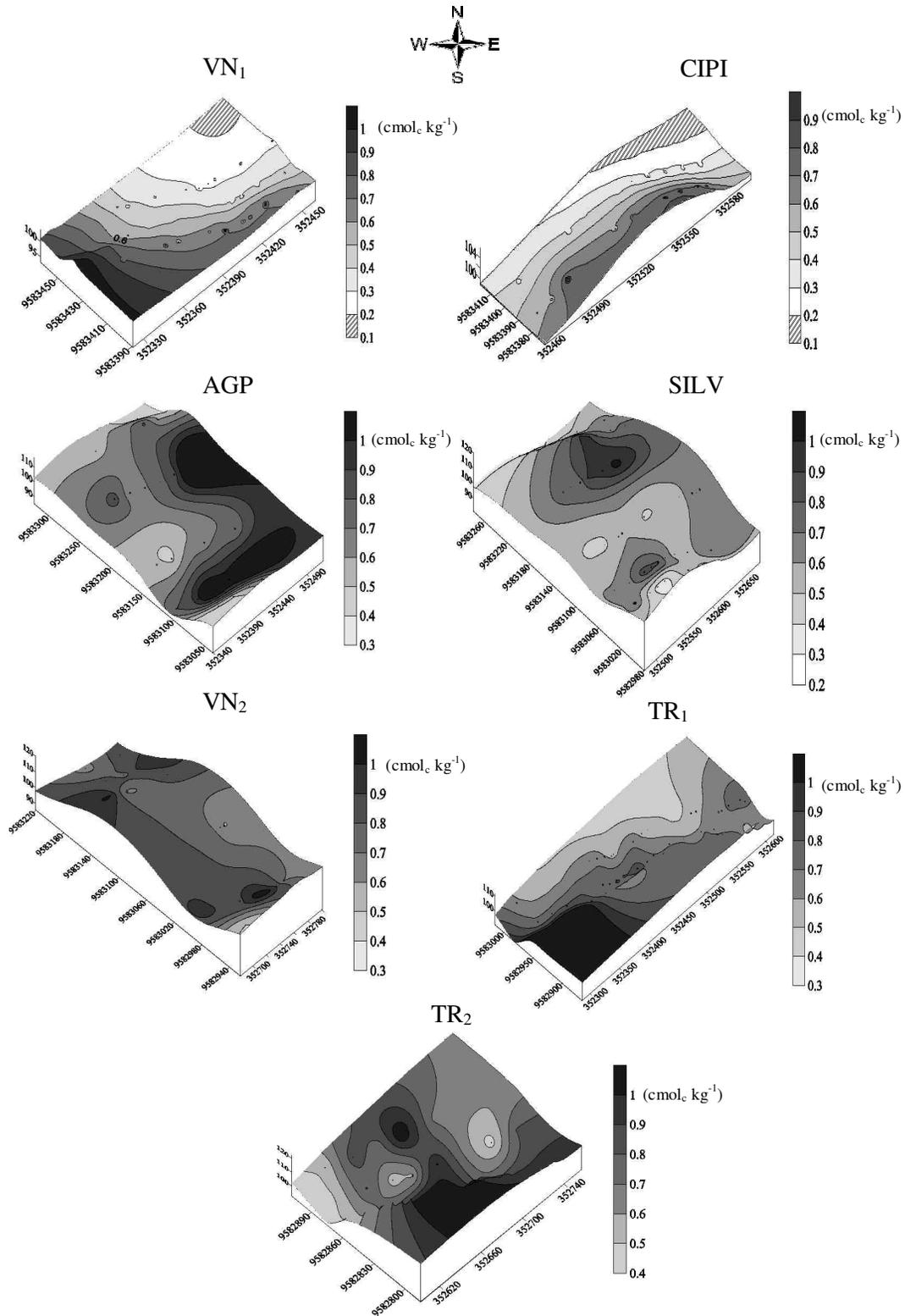


Figura 18. Variabilidade espacial dos teores de K trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

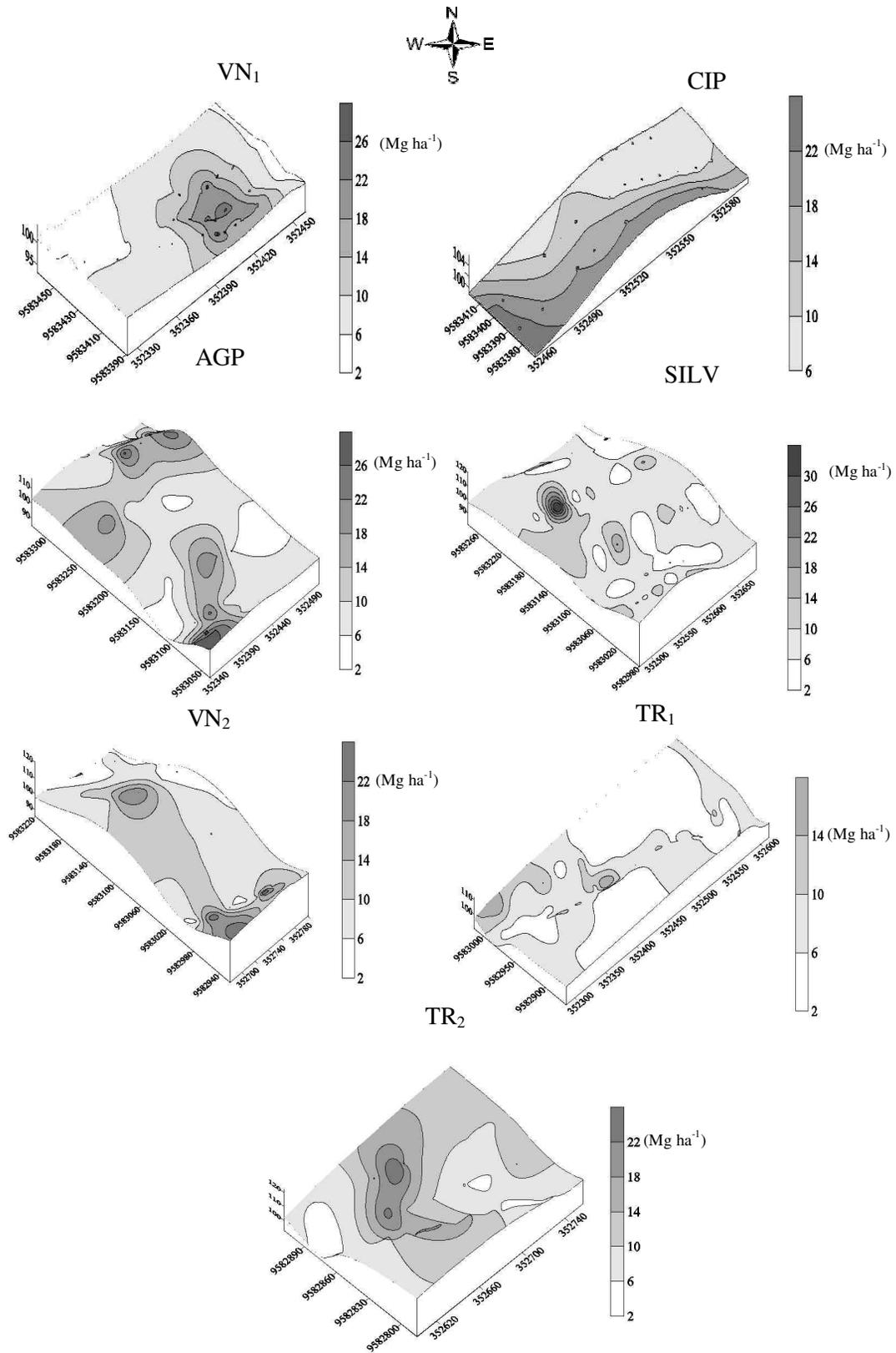


Figura 19. Variabilidade espacial dos estoques de P disponível em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

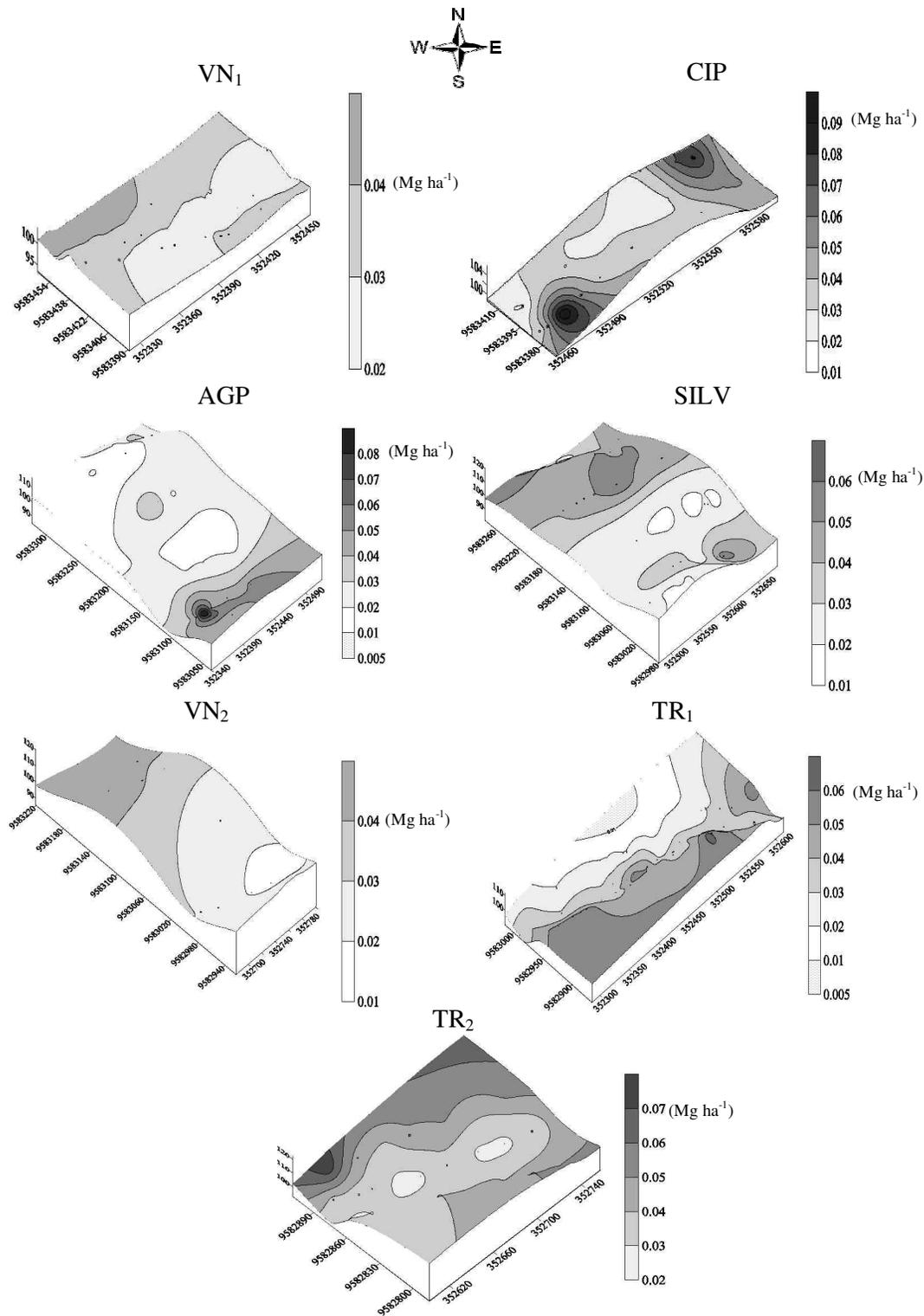


Figura 20. Variabilidade espacial dos estoques de Na trocável em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

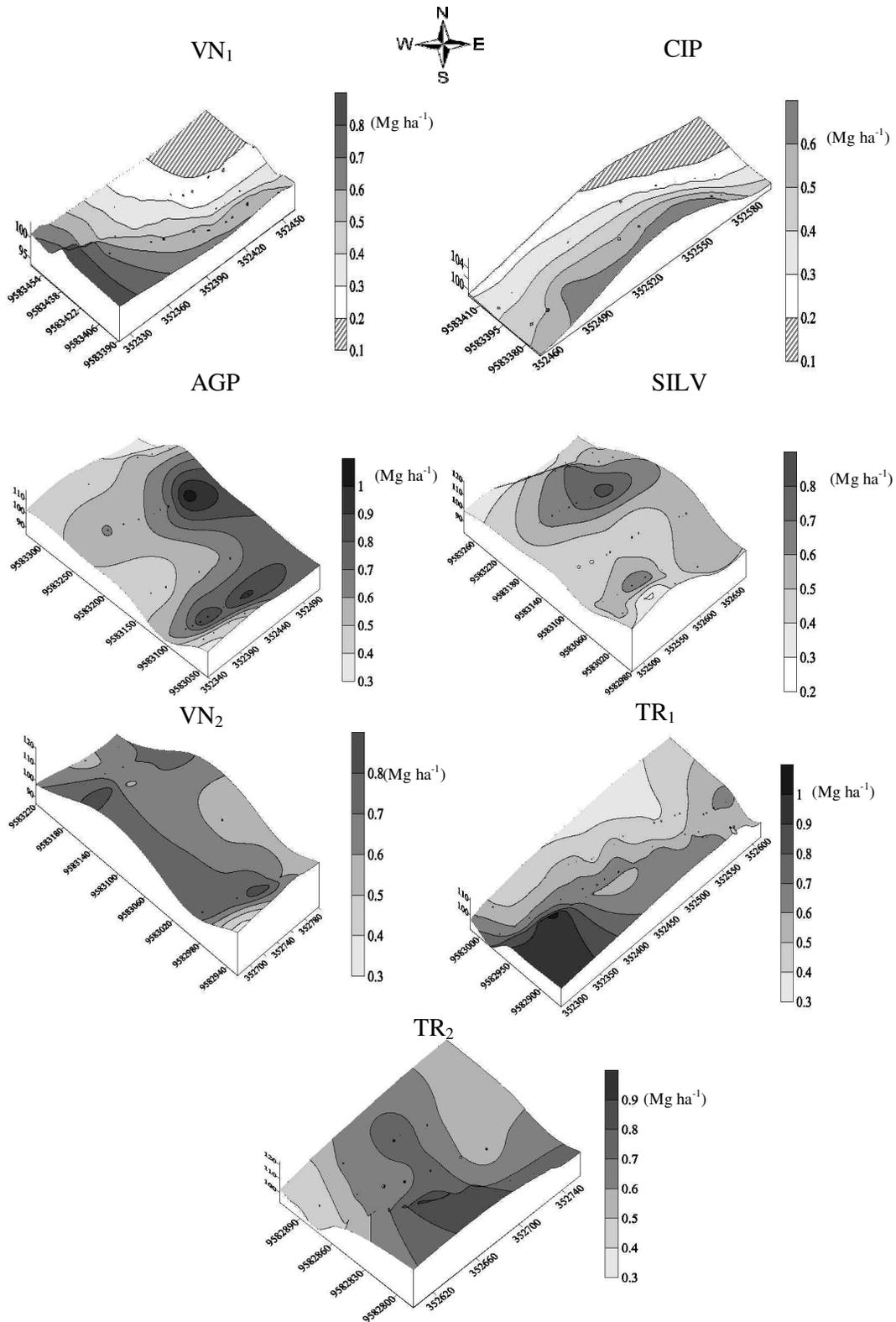


Figura 21. Variabilidade espacial dos estoques de K trocável em Luvissois sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.4. Análise das variáveis físicas do solo

4.4.1. Estatística descritiva

As análises descritivas das frações areia, silte e argila são apresentadas na Tabela 10. Os valores obtidos foram utilizados para classificar o horizonte superficial nos diferentes sistemas de manejo agroflorestal e convencional. De acordo com Santos et al. (2005) a classe predominante nos sistemas de manejo estudados é a franco arenosa. Resultados semelhantes foram observados por Maia et al. (2006) e Silva (2006) quando avaliaram as frações granulométricas na mesma área experimental.

As áreas VN₁, TR₁ e CIP destacaram-se por apresentar os maiores teores de areia em relação às demais áreas, sendo estes de 71, 68 e 67 dag kg⁻¹, respectivamente. Já para a fração silte observou-se uma maior contribuição nas áreas AGP, VN₂ e TR₂ onde estas foram de 23, 22 e 22 dag kg⁻¹. Os maiores teores de argila foram observados nos sistemas TR₂, VN₂, e SILV quando comparados as demais áreas estudadas (Tabela 10).

Os resultados da estatística descritiva quanto às frações areia, silte e argila não apresentaram nenhuma tendência possível de ser associada aos efeitos dos sistemas de manejo, concordando com Maia et al. (2006), que avaliou na mesma área estudada a influência dos sistemas de manejo agroflorestal e convencional na granulometria do solo.

Os valores de densidade do solo variaram de 1,60 a 1,68 g kg⁻¹, entretanto os sistemas convencionais foram os que apresentaram uma maior densidade quando comparado as áreas agroflorestais (Tabela 11). Silva (2006) encontrou resultados inferiores de densidade do solo na mesma área experimental, sendo estes de 1,52 a 1,61 g kg⁻¹. A diferença entre estes resultados podem ser justificadas pelo método de determinação utilizado, pois Silva et al. (2000) comparando o método do torrão parafinado com o método do cilindro, verificaram que os valores de densidade do solo pelo método do torrão foram superiores. Estes autores atribuem esse fato a penetração da parafina nos macroporos e nas fendas existentes no torrão ou a perda de macroporos e segregação no momento da coleta dos torrões.

A área AGP foi à única que apresentou valores médios de densidade do solo inferiores a condição natural VN₂. Os dados de densidade do solo foram em média de 1,62; 1,63; 1,60 e 1,65 g cm⁻³ nos sistemas VN₂, VN₁, AGP e SILV enquanto que nos

convencionais TR₁, TR₂ e CIP observou-se densidades de aproximadamente 1,66; 1,67 e 1,68 g cm⁻³, respectivamente. Siqueira et al. (2008), utilizando o método do torrão, observaram uma densidade de 1,62 g cm⁻³ em uma área sob plantio direto a 20 anos.

Tabela 10. Estatística descritiva das frações areia, silte e argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Areia (dag kg ⁻¹)						
Média	67,24	70,58	64,29	64,99	67,75	61,25	61,81
Mediana	66,49	69,91	65,75	63,77	68,99	59,97	61,29
Mínimo	59,47	64,31	48,73	54,84	53,12	52,60	51,50
Máximo	77,02	76,63	76,77	77,73	76,45	73,72	73,16
CV ⁽¹⁾	6,22	4,78	11,55	8,32	8,29	8,82	6,49
Desvio padrão	4,18	3,37	7,43	5,40	5,62	5,40	24,93
Assimetria	0,24	0,11	-0,44	0,32	-0,91	0,54	0,18
Curtose	-0,38	-0,92	-0,57	-0,34	0,51	0,13	-1,29
KS ⁽²⁾	0,14*	0,15*	0,14*	0,10*	0,10*	0,14*	0,14*
	Silte (dag kg ⁻¹)						
Média	19,16	17,07	22,97	20,57	19,47	22,35	22,39
Mediana	19,31	17,37	22,20	20,79	19,59	22,01	22,81
Mínimo	13,54	12,12	14,93	8,76	6,09	14,71	14,67
Máximo	23,23	23,01	34,63	31,03	27,65	31,62	33,16
CV ⁽¹⁾	10,67	15,79	23,41	21,44	20,79	16,98	19,07
Desvio padrão	2,04	2,69	5,38	4,41	4,05	3,79	4,27
Assimetria	-0,14	-0,08	0,65	-0,41	-0,63	0,64	0,34
Curtose	0,53	-0,60	-0,41	0,66	1,29	0,47	-0,16
KS ⁽²⁾	0,08*	0,10*	0,11*	0,07*	0,10*	0,15*	0,11*
	Argila (dag kg ⁻¹)						
Média	13,60	12,66	12,74	14,44	12,78	16,40	15,80
Mediana	12,68	11,80	12,30	14,36	12,06	16,22	15,64
Mínimo	9,18	8,54	7,36	7,44	8,12	9,46	10,46
Máximo	18,82	19,68	20,50	24,36	20,98	20,98	24,90
CV ⁽¹⁾	21,71	19,28	24,82	24,46	28,03	19,63	22,59
Desvio padrão	3,88	2,35	3,16	3,53	3,58	3,22	3,57
Assimetria	0,18	1,45	0,76	0,45	1,14	-0,29	0,59
Curtose	-1,19	1,57	0,02	0,55	0,24	-0,89	-0,10
KS ⁽²⁾	0,13*	0,15*	0,15	0,07*	0,18	0,11*	0,11*
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

O menor valor de densidade do solo encontrado no AGP provavelmente pode estar associado ao maior aporte de COT observado nesta área e às práticas de manejo

que favorecem o revolvimento mínimo, incorporação de resíduos vegetais e poda das leguminosas. O uso do cultivador também pode proporcionar menores densidades na camada superficial, já que as amostras foram coletadas na superfície do solo. Por outro lado, densidades mais elevadas observadas nos sistemas convencionais, sobretudo na área de CIP, podem estar associadas à desagregação e remoção das partículas de areia que favorecem uma maior exposição do horizonte Bt, típico dos Luvisolos, que naturalmente apresenta uma maior densidade.

Cruz et al. (2003) encontraram, em um solo de textura franco arenosa, valores de densidade semelhantes. Estes resultados indicam que práticas convencionais tendem a favorecer a compactação do solo, além disso, é importante destacar que o CIP embora encontre-se em pousio desde 2002 ainda não está apresentando uma melhoria da estrutura do solo.

Tabela 11. Estatística descritiva dos valores de densidade do solo em Luvisolos Crômico sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Densidade – g cm ⁻³						
Média	1,68	1,63	1,60	1,65	1,66	1,67	1,62
Mediana	1,66	1,63	1,62	1,66	1,65	1,65	1,65
Mínimo	1,53	1,51	1,32	1,41	1,52	1,57	1,41
Máximo	1,84	1,77	1,85	1,85	1,76	1,77	1,77
CV ⁽¹⁾	4,72	4,61	8,85	5,60	3,29	3,44	5,58
Desvio Padrão	0,08	0,07	0,14	0,09	0,05	0,06	0,09
Assimetria	0,45	0,47	-0,46	-0,33	0,09	0,20	-0,89
Curtose	-0,33	-0,49	-0,57	-0,17	-0,42	-0,73	0,01
KS ⁽²⁾	0,12*	0,11*	0,13*	0,09*	0,09*	0,17	0,20
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

Os valores de coeficiente de variação para as variáveis físicas: densidade do solo, areia, silte e argila foram em média de 5, 8, 18 e 23%, respectivamente. Segundo os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), os dados de densidade do solo e areia foram classificados como de baixa variabilidade, e os de silte e argila com uma variabilidade média. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2003a) para a densidade do solo e por Mello et al. (2006) para os atributos texturais em

Argissolos, contudo, variabilidade média para as frações granulométricas foram encontrados por Eguchi et al. (2002) e Souza et al. (2008).

A distribuição de frequência para areia, argila e densidade do solo foi caracterizada por um pequeno desvio a direita enquanto que o silte apresentou o predomínio de valores negativos para os coeficientes de assimetria, indicando uma maior quantidade de valores situados abaixo da média. Quanto ao coeficiente de curtose observou-se o predomínio de valores positivos para o silte e argila o que caracteriza caldas mais alongadas e indica uma maior concentração dos dados em torno da média, e negativos para areia e densidade do solo.

A normalidade dos dados foi indicada pelas medidas descritivas e confirmada a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). A distribuição do tipo normal para a densidade do solo também foi observada por Carvalho et al. (2003a), e Lima et al. (2007), assim como para os autores Silva et al. (2007), Vieira et al. (2007) e Souza et al. (2008) que encontraram as frações areia, silte e argila distribuição normal.

4.4.2. Parâmetros dos semivariogramas

O melhor ajuste para as variáveis silte, argila e densidade do solo foi proporcionado pelo modelo esférico, sendo apenas os dados de areia melhor ajustados ao modelo exponencial (Tabelas 12 e 13).

Souza et al. (2004) verificaram que o modelo exponencial foi o que obteve melhor ajuste para variável areia e o esférico para o silte e a argila assim como os observados neste estudo. Já Vieira et al. (2007) observaram que o modelo exponencial proporcionou um melhor ajuste para todas as frações granulométricas, enquanto que o gaussiano foi empregado como o de melhor ajuste no estudo de Souza et al. (2008). Comportamentos análogos aos obtidos neste estudo, para a variável densidade do solo, foram observados por Andrade et al. (2005) e Carvalho et al. (2003a).

Os atributos físicos estudados apresentaram o predomínio de relações entre o efeito pepita e o patamar inferior a 25%, apontando a existência de elevada dependência espacial. Porém, é importante destacar que nas áreas VN₁ e CIP observaram-se as maiores relações (31 e 19%) para a variável densidade do solo quando comparado aos demais tratamentos.

Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) as áreas VN₁ e CIP apresentam dependência espacial fraca e forte, respectivamente. Apesar de ser

enquadrada com grau forte, a área de CIP apresentou uma relação entre o efeito pepita e o patamar de 19% indicando que propriedades extrínsecas do solo, como as práticas de manejo, estão influenciando a densidade do solo neste sistema. Esta maior influência, possivelmente deve-se as práticas inadequadas de manejo que contribuíram para aumentar a densidade do solo. Por outro lado, a interferência humana que ocorreu na VN₁, segundo o histórico da área, pode justificar a relação entre o efeito pepita e o patamar de 31% e conseqüentemente, a forte influência da densidade por fatores extrínsecos do solo. Nos demais sistemas estudados, a densidade foi influenciada principalmente pelas propriedades intrínsecas do solo.

Tabela 12. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores de areia, silte e argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Areia							
Modelo	Exp	Esf	Gaus	Exp	Exp	Esf	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	0,36	0,12	22,68	0,29	0,32	0,29	2,05
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	18,00	7,84	42,12	24,94	28,80	28,42	41,00
Alcance	34,17	11,40	142,49	22,00	17,10	18,20	15,81
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	2,00	1,53	53,84	1,16	1,11	1,02	4,99
IQA ⁽⁴⁾	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,00	0,12
Silte							
Modelo	Esf	Exp	Exp	Gaus	Esf	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,21	0,78	2,90	8,80	1,70	1,26	0,36
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	4,00	7,10	25,81	11,00	13,77	14,00	18,00
Alcance	26,90	35,28	91,17	106,00	26,59	9,00	12,40
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	5,25	10,99	11,24	80,01	12,35	9,00	2,00
IQA ⁽⁴⁾	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,10	0,06
Argila							
Modelo	Esf	Gaus	Esf	Esf	Esf	Gaus	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	1,46	4,05	0,10	0,13	0,13	0,10	0,13
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	8,60	3,89	9,02	11,57	10,79	9,60	12,61
Alcance	41,38	98,00	13,30	9,33	11,40	11,40	26,00
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	16,98	104,11	1,09	1,12	1,20	1,04	1,03
IQA ⁽⁴⁾	0,02	0,05	0,05	0,06	0,04	0,06	0,08

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

As frações areia, silte e argila apresentaram alcances de 11 a 142, 9 a 106 e de 9 a 98 m, respectivamente enquanto que a densidade do solo obteve alcances entre 9 e 37 m. Estes resultados permitem inferir que amostras coletadas em um raio menor que 9

m são espacialmente dependentes e podem ser utilizadas para estimar valores em pontos não amostrados, portanto recomenda-se o espaçamento de 9 m para obtenção de uma amostragem eficiente e precisa para avaliação das propriedades físicas.

Tabela 13. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos valores de densidade em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Densidade do solo						
Modelo	Esf	Gaus	Esf	Exp	Exp	Exp	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Alcance	9,80	37,23	19,20	16,00	11,90	9,00	27,20
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	18,74	31,30	1,01	1,10	1,27	1,21	11,00
IQA ⁽⁴⁾	0,10	0,00	0,02	0,01	0,06	0,03	0,22

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

Os valores de alcances para as diferentes formas de carbono, P disponível, K e Na trocável, areia, silte, argila e densidade do solo podem ser observados nas Tabelas 14 e 15. De um modo geral, a distância máxima em que a variável está correlacionada espacialmente para as formas de carbono e os elementos químicos estudados é 10 m. Entretanto, quando os tratamentos foram avaliados individualmente recomenda-se espaçamentos de aproximadamente 10, 14, 12, 12, 10, 11 e 11 m para teores e de 10, 11, 13, 10, 10, 10 e 18 m referente ao estoques nas áreas CIP, VN₁, AGP, SILV, TR₁, TR₂ e VN₂, respectivamente para melhor caracterizar as formas de carbono estudadas.

Em relação ao P disponível, Na e K trocável, verificou-se que nos sistemas CIP, VN₁, AGP, SILV, TR₁, TR₂ e VN₂ amostras coletadas em espaçamentos de no máximo 19, 10, 17, 10, 21, 10 e 22 m para teores e 13, 10, 11, 14, 15, 12 e 23 m (Tabela14), respectivamente são espacialmente dependentes e podem ser utilizadas para estimar valores de P disponível, Na e K trocável em locais não amostrados.

Os valores de alcances para as variáveis: areia, silte e argila permitiram inferir espaçamentos de 27, 11, 13, 9, 11, 9 e 12 m como os mais indicados para analisar a textura nas respectivas áreas CIP, VN₁, AGP, SILV, TR₁, TR₂ e VN₂. Já para a

densidade do solo espaçamentos de 10, 37, 19, 16, 12, 9 e 27 m permitem uma melhor precisão no processo de amostragem e obtenção dos dados (Tabela 15).

Tabela 14. Valores de alcances para os teores e estoques de carbono orgânico total, particulado, associado e solúvel em água, P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Tratamentos	Alcances – Teores (m)						
	COT	COP	COA	CSA	P	Na	K
CIP	10,30	24,20	10,99	16,30	27,00	19,00	34,00
VN ₁	27,60	18,60	29,30	13,90	9,90	58,00	62,00
AGP	19,00	11,79	17,58	11,58	30,40	16,80	34,20
SILV	14,00	164,00	18,00	12,00	200,00	10,00	36,00
TR ₁	20,90	36,09	17,10	10,50	28,49	20,89	47,49
TR ₂	58,80	10,60	110,00	79,79	9,62	16,80	9,78
VN ₂	13,84	10,90	23,80	44,20	21,70	90,39	21,69
	Alcances – Estoques (m)						
CIP	12,59	24,30	9,97	23,40	20,69	13,49	33,29
VN ₁	24,79	20,00	22,40	11,00	10,00	80,00	64,79
AGP	24,70	20,89	15,20	13,30	19,00	10,60	58,89
SILV	12,00	10,00	18,00	12,00	156,00	14,00	38,00
TR ₁	19,00	37,99	82,59	9,58	26,60	15,20	45,60
TR ₂	64,90	9,60	18,90	70,40	11,80	23,10	46,20
VN ₂	18,20	18,19	127,29	27,29	23,10	210,00	27,29

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2.

Tabela 15. Valores de alcances para os dados de areia, silte, argila e densidade do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Tratamentos	Alcances (m)			
	Areia	Silte	Argila	Densidade
CIP	34,17	26,90	41,38	9,80
VN ₁	11,40	35,28	98,00	37,23
AGP	142,49	91,17	13,30	19,20
SILV	22,00	106,00	9,33	16,00
TR ₁	17,10	26,59	11,40	11,90
TR ₂	18,20	9,00	11,40	9,00
VN ₂	15,81	12,40	26,00	27,20

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2.

4.4.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

A visualização espacial dos pontos estimados pelo processo de krigagem permitiu avaliar também o comportamento dos atributos físicos nas áreas sob manejo agroflorestal e convencional. A distribuição espacial das frações granulométricas e da densidade do solo é apresentada nas Figuras 21, 22, 23 e 24.

Na área AGP observou-se que, na direção oeste, existe o predomínio de maiores teores de areia, sendo estes de 66 a 78% e menores de argila (8 a 10 dag kg⁻¹). Já no topo da área ocorre um comportamento oposto onde verificam-se os menores teores de areia variando de 57 a 63 dag kg⁻¹ e os maiores de silte (25 a 31 dag kg⁻¹). Em uma região de relevo côncavo e de altitude inferior a observada no topo verificou-se uma mancha caracterizando um pequeno acúmulo de areia apontando um pequeno transporte desta fração, o que provavelmente pode ter sido favorecido pelo pouco revolvimento realizado periodicamente durante o plantio. Entretanto, em outra região situada na direção leste, também de relevo côncavo e de baixada, este comportamento não foi observado. Quanto ao silte e argila, nenhuma tendência de movimento destas frações foi observada neste sistema de manejo.

O SILV apresentou o predomínio de classes de areia variando de 51 a 75 dag kg⁻¹ de areia. Os maiores valores desta fração foram observados nas porções mais baixas, enquanto que, no topo, verificaram-se os menores teores (51 a 63 dag kg⁻¹) de areia. Este comportamento foi oposto quando analisou-se o mapa de distribuição espacial do silte. Quanto à argila, verificou-se a existência de pequenas manchas com maiores teores de argila na direção norte cujo relevo é côncavo e tem cotas entre 80 a 92 m, enquanto que na altitude de 104 a 110 m os menores teores de argila foram observados. Estes resultados apontam a fração areia como a preferencialmente transportada, em relação ao silte e a argila, do topo para regiões de baixada. A maior variação nas condições topográficas (altitude, forma e curvatura do terreno) em relação aos demais tratamentos pode estar favorecendo o transporte das partículas de areia já que este sistema é bastante conservador por não promover o revolvimento e manter a cobertura vegetal na superfície do solo.

A proximidade das isolinhas na área TR₁ mostrou uma maior variabilidade espacial na região sudoeste próximo ao vale. Entretanto, diferente da área de referência VN₂, este sistema apresentou uma distribuição uniforme para o silte e a argila, porém na direção sudoeste observou-se pequenas manchas com maiores teores destas frações e

menores concentrações das partículas de areia. No sistema TR₂ observou-se, em altitudes de 116 a 122 m, menores teores de areia e silte, enquanto que maiores teores foram encontrados em pequenos locais. A uniformidade observada nestas áreas contribuiu para que nenhum padrão de distribuição das frações granulométricas fosse possível de ser associada às formas de relevo.

Na área de CIP foi possível observar uma maior concentração de areia na parte mais baixa situada na direção sul e nas proximidades do topo para direção norte. Os maiores teores de silte foram observados ao norte da área com relevo do tipo côncavo. Na parte mais alta observaram-se os menores teores de argila (8 a 12 dag kg⁻¹), enquanto que, nas extremidades ao norte e na direção sul existe manchas que caracterizam valores de argila mais altos, sendo estes de 14 a 18 dag kg⁻¹. É possível verificar que as partículas de argila, embora seja mais resistente a desagregação, estão sendo transportadas do topo para as partes mais baixas, o que não ocorre na área VN₁ onde existe um padrão bastante variável das frações granulométricas. Estes resultados confirmam os efeitos da erosão, pois o movimento das frações areia e argila para regiões de baixada confirmam as perdas do horizonte A e alterações no horizonte Bt já que este sistema foi o que apresentou menor espessura da camada superficial em relação aos demais sistemas de manejo estudado.

Os resultados expostos acima indicam que a fração comumente alterada pela ação dos agentes erosivos nos sistemas conservadores foi à areia. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato do Luvissole possuir um horizonte A com textura franco arenosa e o horizonte Bt com acúmulo de argila, por isso naturalmente mais areia será transportada em relação a argila quando se tem uma condição semelhante a vegetação natural. Nos sistemas convencionais isto não acontece devido a areia já ter sido transportada com o horizonte A pela erosão hídrica, o que promove a desagregação e remoção das partículas de argila.

Os mapas de distribuição para os valores de densidade do solo são observados na Figura 25. As menores densidades (1,50 a 1,35 g cm⁻³) da área AGP predominam nas partes mais altas que têm relevo do tipo convexo situadas na direção norte, enquanto que na região central e na extremidade da direção nordeste ocorre manchas que caracterizam uma maior densidade. O sistema SILV apresentou faixas predominantes de 1,55 a 1,60 g cm⁻³ na direção sul, enquanto que densidades de 1,60 a 1,70 g cm⁻³ ocorreram com maior frequência na porção norte. É importante destacar que esta área tem altitudes elevadas quando comparada às demais áreas, o que pode estar acentuando ainda mais a densidade

do solo neste local que é caracterizado pelo predomínio de cascalho, sobretudo nas regiões próximas do topo. As áreas AGP e SILV não apresentaram nenhuma tendência de distribuição espacial da densidade do solo possível de ser associado às formas de relevo e a declividade, sendo sua distribuição espacial mais variada do que a VN₂.

O sistema TR₁ apresentou manchas predominantes de 1,65 a 1,75 g cm⁻³ distribuídas de forma uniforme na área, além disso, não foi encontrada nenhuma associação com a topografia da área. Comportamento diferente foi observado no TR₂, onde na parte norte, cujas altitudes variam de 110 a 116 m e as perdas de COT são mais intensas, observou-se os maiores valores de densidades do solo, demonstrando os efeitos das perdas da matéria orgânica promovida pela erosão hídrica no incremento da densidade do solo. Já o CIP apresentou densidade do solo variando de 1,55 a 1,80 g cm⁻³, sendo estes valores maiores seguindo da parte central para o sudoeste. Na Figura 24 é possível verificar uma mancha com menores valores de densidade (1,55 a 1,65 g cm⁻³) na porção mais alta da área onde predomina a forma côncava, enquanto que nos locais de menor altitude os valores de densidade foram incrementados. Os baixos teores de COT nesta área assim como a maior desagregação e remoção da argila pode estar favorecendo o aumento da densidade mesmo em condições de relevo côncavo e de baixada.

A ocorrência de faixas com altos valores de densidade e a maior uniformidade nas áreas sob manejo convencional quando comparado aos SAF's deve-se à maior a maior desagregação e remoção da argila promovida pela intensa perda de solo observada nestas áreas, que naturalmente possui maiores valores de densidade em relação ao horizonte A.

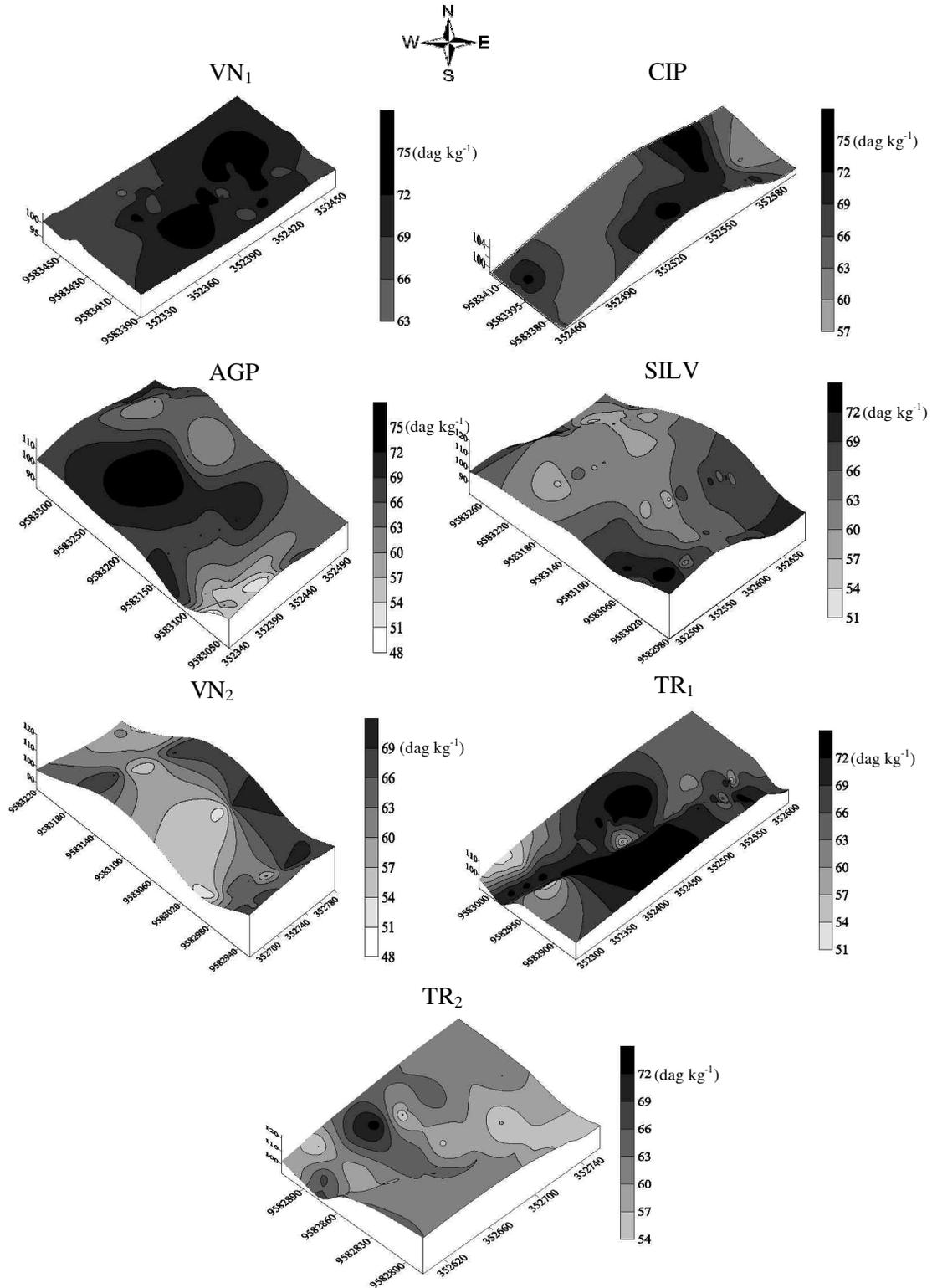


Figura 22. Variabilidade espacial dos teores de areia em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

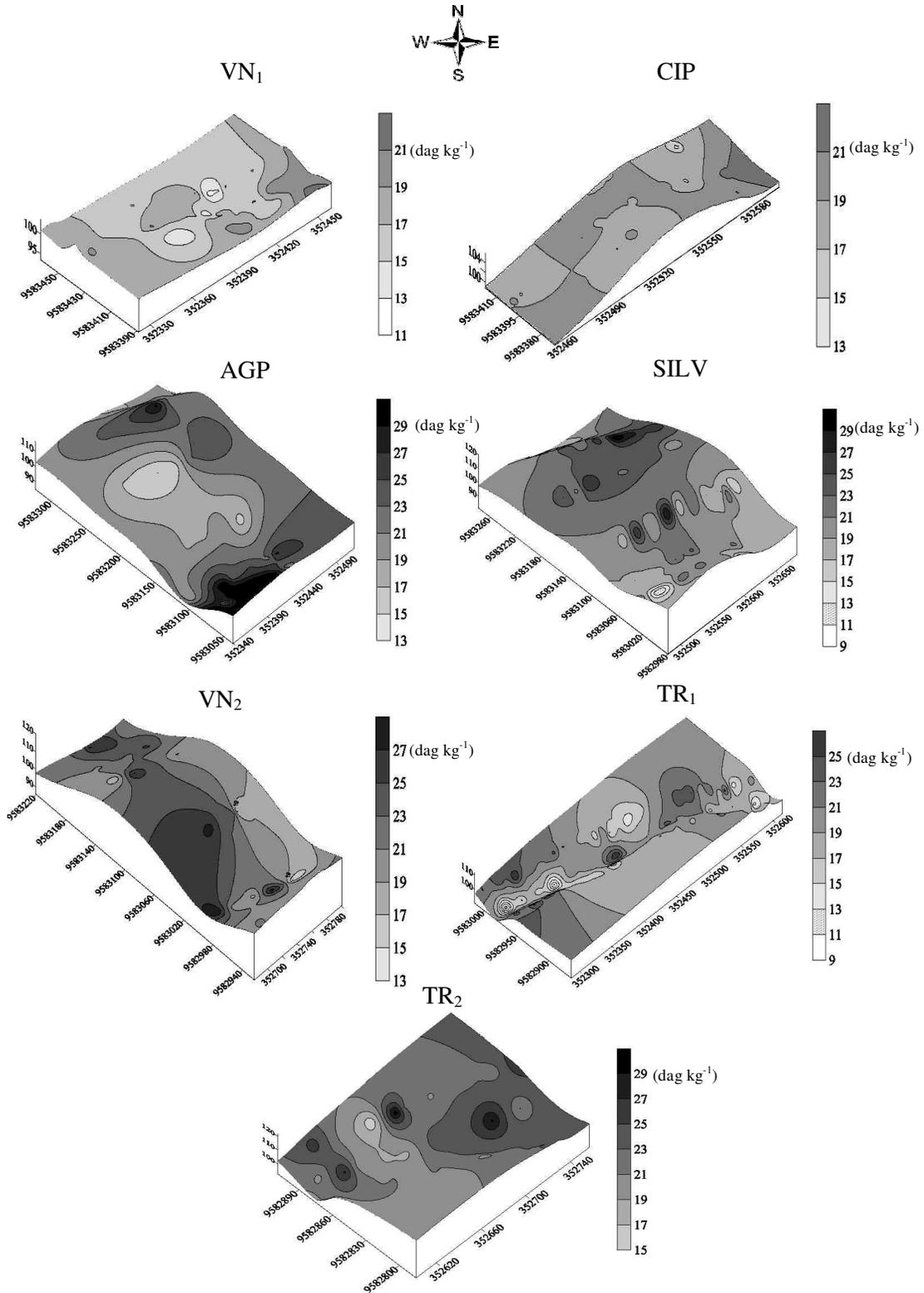


Figura 23. Variabilidade espacial dos teores de silte em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

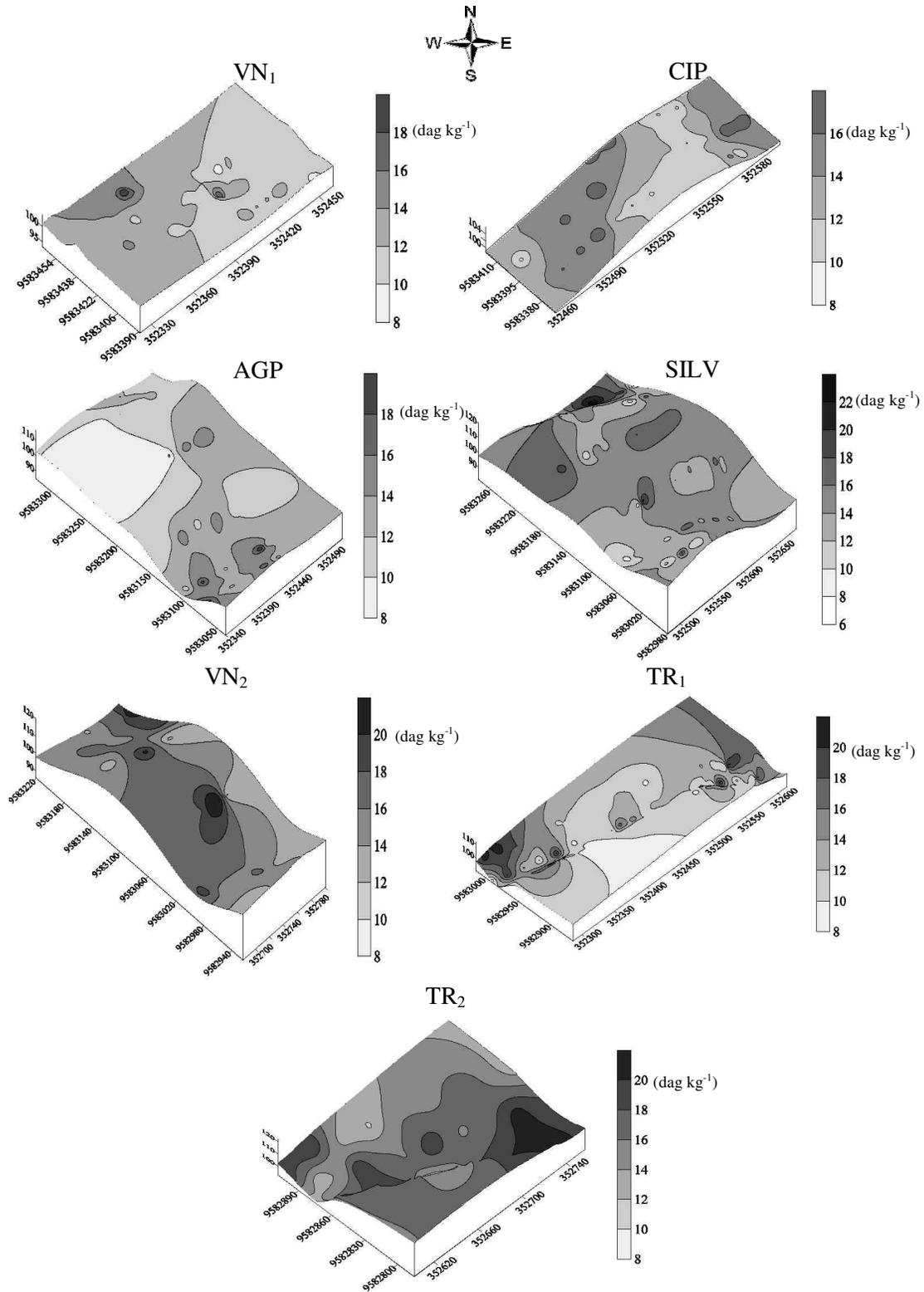


Figura 24. Variabilidade espacial dos teores de argila em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

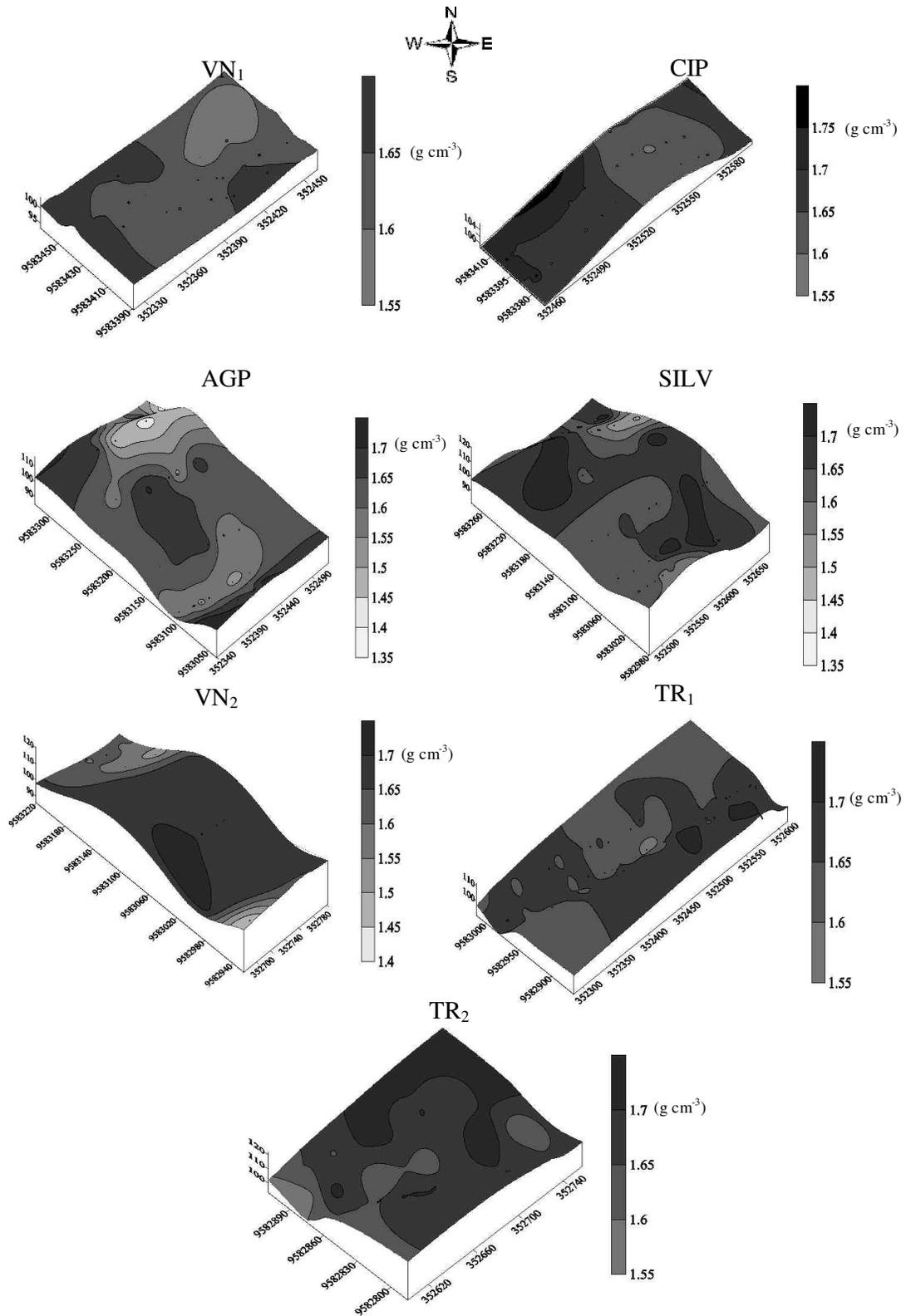


Figura 25. Variabilidade espacial dos valores de densidade do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.5. Índice de manejo de carbono

4.5.1. Estatística descritiva

Na Tabela 16, encontram-se os resultados referentes à estatística descritiva para os valores de índice de manejo de carbono (IMC), os que variaram de 44 a 107%, sendo os maiores valores observados nas áreas AGP e SILV, enquanto que no TR₂ e no CIP, observaram-se os mais baixos IMC. Nicoloso (2005) verificou, em seus estudos valores de IMC superiores aos encontrados neste estudo, sendo de 80% nas áreas sob pastoreio, 113% em monocultura do milho e 122% na área sem pastoreio.

Tabela 16. Índice de manejo de carbono em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
Média	69,08	78,25	106,78	78,31	77,43	43,77	90,36
Mediana	64,96	67,18	100,34	58,43	65,11	34,79	74,41
Mínimo	10,88	13,33	7,62	2,71	3,01	2,98	32,52
Máximo	215,96	272,27	267,68	287,73	260,98	112,63	239,71
CV ⁽¹⁾	55,59	56,23	64,33	73,41	68,57	66,67	71,15
Desvio Padrão	38,40	44,00	68,70	57,49	53,10	29,18	64,29
Assimetria	1,11	1,77	0,76	1,35	0,89	0,96	1,42
Curtose	0,43	1,53	-0,74	0,38	0,12	1,61	0,60
KS ⁽²⁾	0,20	0,25	0,20	0,25	0,13	0,30	0,30
Observações	41	32	41	67	74	28	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

A área AGP destacou-se por ser o único tratamento estudado a apresentar o IMC superior a condição natural VN₂, sendo de 18% o incremento proporcionado por este sistema de manejo. Já os sistemas SILV, TR₁ e TR₂ foram caracterizados por IMC inferiores a VN₂ em 13, 14 e 52%, enquanto que o CIP apresentou uma redução de 12% em relação a VN₁. O maior IMC na área AGP indica que o aporte contínuo de matéria orgânica, a incorporação de resíduos vegetais, a presença de árvores e o cultivo em aléias com leguminosas favorecem a manutenção do carbono no solo. Além disso, o pouco revolvimento realizado com o cultivador no período de plantio facilita a atuação dos microorganismos e a decomposição de parte deste carbono mantendo o equilíbrio mais eficiente entre as formas de carbono neste sistema. Embora o SILV tenha apresentado condições inferiores ao AGP e a VN₂, seu IMC foi superior aos sistemas

convencionais indicando que apesar desta área apresentar o predomínio de cascalhos e regiões com espessura do horizonte A inferior a condição natural, as práticas de manejo adotadas foram eficientes no estoque e manutenção do equilíbrio entre as formas de carbono.

O menor IMC da área VN₁, quando comparado a VN₂, pode ser justificado pela ação antrópica a que esta foi submetida de acordo com o histórico de uso da área. Além disso, a menor redução observada no CIP pode indicar que o pousio adotado está sendo eficiente na recuperação dos reservatórios de carbono no solo. Entretanto, considerando o IMC de 69,08% como reflexo dos 11 anos do sistema de CIP e 78,25% como valor de referência, verificou-se que são necessários aproximadamente 1,5 anos para que esta área tenha condições de IMC semelhantes ao sistema VN₁. Contudo, é importante destacar que o sistema de manejo tradicional da região está promovendo reduções drásticas nos estoques de carbono e conseqüentemente no IMC. Considerando que no período de 11 anos as áreas TR₁ e TR₂ apresentaram IMC de 77,43 e 43,77% e valores de 90,36% como referência verifica-se a necessidade de um período de pousio dois anos para o TR₁ apresentar condições semelhantes a VN₂. Por outro lado, como o IMC na área TR₂ foi menor que a metade encontrada na área VN₂ é necessário um período de 12 anos para que o equilíbrio entre as formas de carbono seja restabelecido neste sistema.

Por outro lado, o menor IMC na área SILV pode ser justificada pela sua condição topográfica, pois dentre os sistemas estudados, este é o único que está situado na parte mais elevada da fazenda experimental, onde observou-se o predomínio de declividades mais acentuadas, cascalho que afloram a superfície do solo e regiões com o horizonte A pouco espesso que tende a reduzir o estoque de carbono e o IMC nesta área. Apesar de todas estas adversidades, este sistema está sendo mais eficiente na manutenção das formas de carbono no solo quando comparado aos sistemas convencionais da região.

De modo geral, o índice de manejo do carbono representou um comportamento semelhante ao COP, confirmando a maior sensibilidade desta forma de carbono na avaliação dos sistemas de manejo.

Os maiores valores de IMC encontrados nos AGP podem ser justificados pela manutenção da cobertura vegetal, incorporação do material originado da poda das árvores e arbustos, a aplicação do esterco produzido pelos ovinos na área, revolvimento mínimo da superfície e formação de cordões no sentido perpendicular ao declive. Em

contrapartida, no SILV práticas como a incorporação do material originado da poda das árvores e arbustos, o não revolvimento do solo e o aporte de esterco produzido pelos animais mantidos na área podem justificar o maior IMC encontrado no SILV em relação aos sistemas convencionais onde ocorre a queima dos resíduos vegetais e exposição da superfície do solo.

Comportamentos similares foram observados por diferentes autores estudando SAF's (Júnior & Melo, 2000; Souza & Melo, 2003; Aguiar et al., 2006; Maia et al. 2006; Rangel et al., 2007; Rangel et al., 2008) ou sistemas que apresentam alguma similaridade quanto a algumas propriedades. Tais condições não ocorrem nos demais sistemas testados, de acordo com o histórico de uso das áreas, mesmo após certo tempo de pousio, como é o caso do CIP.

O índice de manejo de carbono apresentou um CV médio de 65%, sendo classificado a partir dos limites propostos por Warrick & Nielsen (1980) como de alta variabilidade. Este resultado pode ser justificado pelos estoques de COP e COA que apresentaram variação de média a alta, pois o IMC foi obtido a partir da labilidade destas formas de carbono no solo.

Os valores de IMC apresentaram o predomínio de coeficientes de assimetria e curtose positivos. A proximidade destes coeficientes de zero e a pequena diferença entre os valores de média e mediana indicaram a tendência dos dados a seguir uma distribuição normal, o que foi confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

Na Tabela 17, observou-se a proporção da área que apresenta valores de IMC superiores ou inferiores a condição ideal, no caso 100%, de acordo com Blair et al. (1995). No sistema AGP, constata-se que apenas 64% ou 2,0 ha da área total foram constituídos por valores de IMC acima da condição ideal, o que não ocorre na VN₂ onde apresentou apenas uma área de 37% (1,1 ha) com IMC superiores a 100%. No sistema AGP a maior percentagem de área, em relação aos demais tratamentos, com IMC superior a 100% indica o potencial das práticas de manejo adotadas neste sistema em promover o estoque e o equilíbrio das formas de carbono no solo.

Por outro lado, o SILV possui 85% da área total que abrange 4,4 ha, composta por valores de IMC inferiores a condição desejada e 15% com valores IMC semelhantes ou superiores a 100% (Tabela 17). As maiores variações de altitude e o predomínio de horizonte superficiais de menor espessura podem ter favorecido o predomínio de IMC abaixo de 100% na área SILV.

Tabela 167. Quantificação das áreas com IMC inferiores e superiores a condição de vegetação natural em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

IMC	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Área – (%)						
ICI ⁽¹⁾	97,6	83,5	35,7	85,4	74,6	99,9	62,6
SCI ⁽²⁾	2,4	16,5	64,3	14,6	25,4	0,1	37,4
Área total (ha)	1,2	1,2	3,5	5,2	4,4	1,9	3,1

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 2, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Inferior a condição ideal, ⁽²⁾ Superior a condição ideal.

Os tratamentos TR₁, TR₂ e CIP apresentaram uma participação de 75, 100 e 98% da área total ou aproximadamente 3,3; 1,9 e 1,8 ha com IMC inferiores a condição ideal. Em contrapartida, apenas 25, 0 e 2% destas áreas possuem valores de IMC superiores a 100% (Tabela 17). Estes resultados confirmam os efeitos negativos do uso de práticas inadequadas de manejo nos reservatório de estoque de carbono no solo em praticamente toda área, o que demonstra a necessidade de adoção de práticas conservacionistas para iniciar prontamente os processos de recuperação destas áreas com intuito de amenizar as perdas de carbono.

4.5.2. Parâmetros do semivariograma

Os parâmetros ajustados para os dados de IMC são observados na Tabela 18, nesta observou-se que o modelo exponencial foi o que proporcionou os melhores ajustes aos semivariogramas. Em todos os tratamentos estudados, as relações entre o efeito pepita e o patamar foram inferiores a 25%, o que indica um forte grau de dependência espacial segundo Cambardella et al. (1994).

A distância máxima em que os dados de IMC foram correlacionados espacialmente variou 9 a 27 m. Os alcances obtidos para o IMC apresentaram as menores distâncias em relação às demais variáveis estudadas, o que provavelmente ocorreu devido à alta e média variabilidade espacial encontrada nas formas de carbono orgânico particulado e associada. Entretanto, estes resultados confirmam os encontrados nos demais atributos estudados, onde observou-se que o espaçamento de 10 m é o ideal para estimar valores em pontos não amostrados e por isso recomenda-se este espaçamento para coletar amostras de solo que tenham o objetivo de avaliar o comportamento dos sistemas de manejo a partir das frações de carbono do solo.

Tabela 17. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de IMC em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	IMC						
Modelo	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp	Exp	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	84,00	90,00	66,00	70,00	40,00	80,91	41,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	2800,00	450,00	620,00	629,77	388,00	270,00	364,00
Alcance	22,49	9,82	15,20	9,00	26,60	10,00	20,80
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	3,00	2,00	1,27	1,01	1,03	3,00	1,12
IQA ⁽⁴⁾	0,02	0,18	0,03	0,04	0,01	0,01	0,05

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

4.5.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

Na Figura 26 encontra-se a distribuição espacial do Índice de Manejo de Carbono (IMC). O sistema AGP destacou-se com o predomínio de maiores valores de IMC (120 a 200%) em relação a VN₂ e os demais tratamentos estudados. Este comportamento aconteceu principalmente na direção sul onde observam-se as menores altitudes, porém também ocorreu na região norte com menor intensidade. Além disso, quando compara-se o mapa de IMC como os de teores e estoques de COP é possível verificar uma mesma tendência na distribuição dos dados. Já no SILV isto não ocorreu, pois uma mancha marcante com faixas variando de 0 a 60% pode ser observada na região central que possui maior altitude. Entretanto em alguns locais situados nas extremidades leste e oeste verificaram-se índices predominantes de 100 a 160%.

No sistema TR₁ observou-se uma variabilidade espacial superior a área de referência VN₂, onde índices de 100 a 180% foram observados na direção oeste, enquanto que na parte leste estes apresentaram uma maior uniformidade com valores de 0 a 60%. Por outro lado, o TR₂ apresentou a distribuição mais uniforme quando comparado as demais áreas estudadas com IMC variando de 20 a 100%. Os locais onde foram observados faixas mais intensas (60 a 100%) ocorreram na direção nordeste e sudoeste e que apresentam menores altitudes e relevo do tipo côncavo. Nestas regiões também observou-se maiores concentrações de COP. No sistema convencional CIP observou-se IMC variando de 20 a 120%, onde os maiores aconteceram na direção

oeste, sendo estes reduzidos na direção leste, comportamento este também semelhante ao observado nos mapas de COP desta área.

Diante destes resultados é possível inferir que o sistema AGP apresentou uma melhor distribuição espacial dos IMC em relação aos demais tratamentos estudados em virtude dos maiores índices serem encontrados na maior parte da área e não apenas em pontos isolados, o que favorece o reservatório de estoque de carbono neste sistema. Já os sistemas TR₂ e CIP apresentaram uma maior uniformidade com baixos índices o que compromete a sustentabilidade destes sistemas.

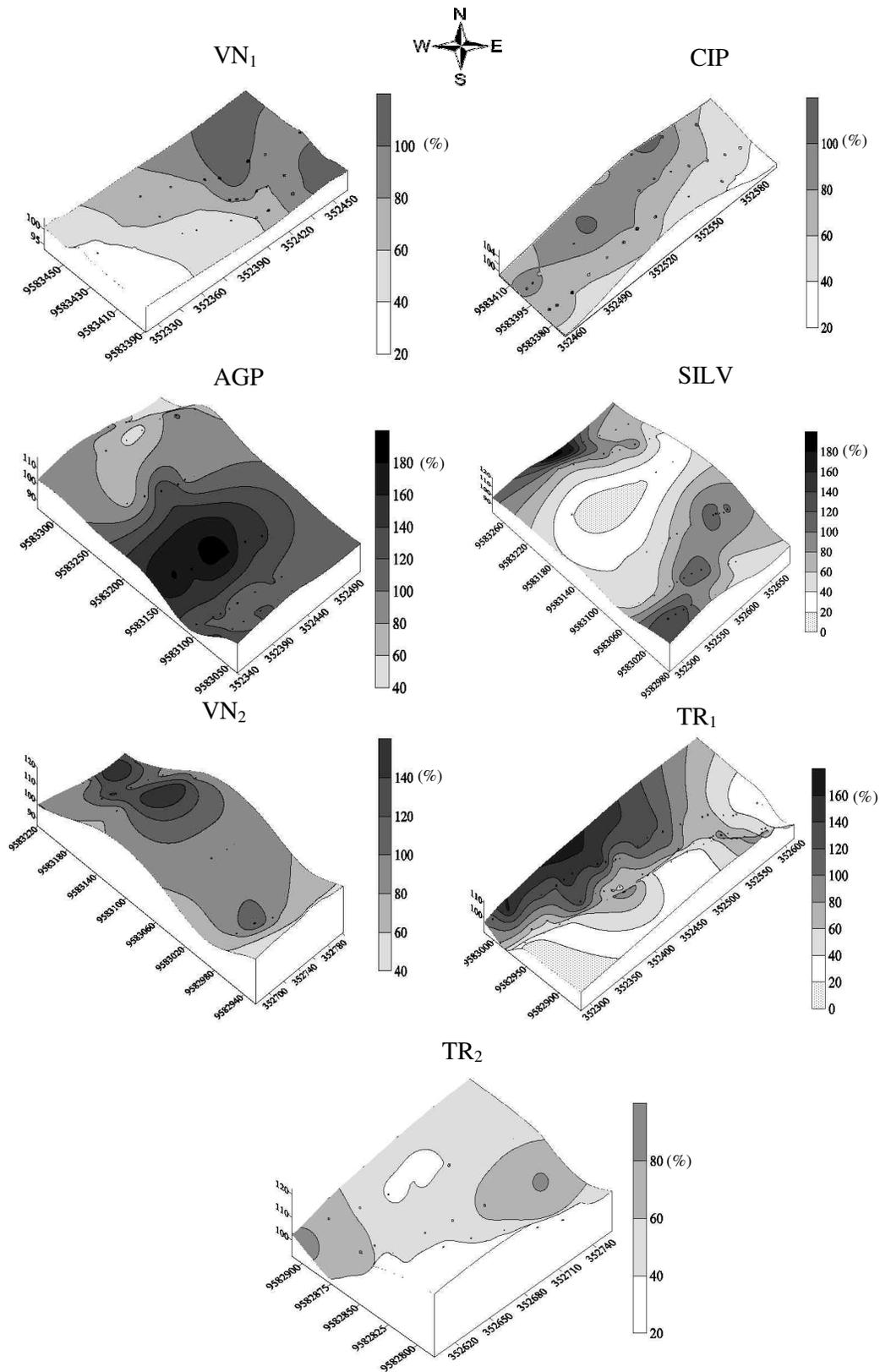


Figura 266. Variabilidade espacial dos índices de manejo de carbono em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.6. Avaliação da espessura do horizonte A e do risco de erosão na área estudada

4.6.1. Estatística descritiva

De modo geral, observou-se que a espessura do horizonte A variou de 8,8 a 13 cm. As áreas CIP, TR₂ e SILV apresentaram os menores valores de espessura sendo estes de 8,8; 9,1 e 9,9 cm, respectivamente, enquanto que a área AGP destacou-se com valores de 13,0 cm indicando que o horizonte A não está sendo perdido por erosão hídrica o que contribui para incrementar os estoques de carbono e nutrientes neste sistema (Tabela 19).

Com um coeficiente de variação em torno de 40% a espessura do horizonte A apresentou variabilidade média de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980). A distribuição de frequência, embora tenha tido um pequeno desvio a direita e o predomínio de um coeficiente de curtose negativo apresentou distribuição normal significativa a 5% de probabilidade pelo teste KS.

Tabela 189. Medidas descritivas para os valores de espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Espessura do horizonte A – (cm)						
Média	8,8	12,1	13,0	9,9	9,6	9,1	11,7
Mediana	9,0	13,0	11,0	7,2	9,0	10,0	11,0
Mínimo	5,0	8,0	7,0	6,0	4,0	5,0	4,5
Máximo	16,0	18,0	26,0	22,0	21,0	12,0	22,0
CV ⁽¹⁾	42,1	28,3	40,1	50,8	44,2	28,2	46,5
Desvio Padrão	3,7	3,4	5,2	5,0	4,3	2,6	5,4
Assimetria	-0,1	0,5	1,6	1,4	0,7	-0,7	0,4
Curtose	-1,1	-0,0	1,3	-0,9	0,6	-0,8	-1,0
KS ⁽²⁾	0,2*	0,1*	0,2	0,2	0,1*	0,3*	0,1*
Observações	10	7	15	18	23	10	16

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 2, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar

A associação dos dados de espessura do horizonte A com a declividade e curvatura nas áreas de vegetação natural permitiu a geração de valores de referência em

grupos de 0 a 8, 8 a 11 e 11 a 14 cm que caracterizam regiões de alta, média e baixa susceptibilidade a erosão e regiões de depósitos quando a espessura é superior a 14 cm.

O sistema AGP apresentou a menor quantidade de área altamente susceptível à erosão (0,1%) quando comparado a VN₂ e aos demais tratamentos (Tabela 20). Entretanto, os sistemas TR₁, SILV, TR₂ e CIP apresentaram 37, 33, 8 e 9% da área nesta situação.

Na classe de 8-11 cm considerada como média susceptibilidade a erosão, verificou-se que o TR₂ possui uma área de 84%, sendo seguido pelos sistemas CIP, SILV, AGP e TR₁ com 46, 45, 41, 37 e 23%. Já a VN₂ apresentou uma maior quantidade de área nas faixas de 0 a 8 cm (8%) e 8 a 11 (37%) em relação a VN₁ que foi caracterizada por não ter áreas de maior susceptibilidade e 7% com pouco risco de erosão.

Os sistemas AGP e SILV apresentaram 27 e 13% da área como não susceptível aos agentes erosivos, já em condições de depósito foram observadas áreas com 32 e 9%, respectivamente. Nos sistemas convencionais TR₁, CIP e TR₂, apenas 37, 33 e 8% apresentam baixos riscos de erosão, diferente da VN₁ onde 88% da área abrangem a faixa de 11 a 14 cm. A existência de regiões de depósito também foi encontrada em aproximadamente 4 e 12% nos sistemas TR₁ e CIP, respectivamente.

Tabela 20. Quantificação das áreas classificadas de acordo com a susceptibilidade aos efeitos da erosão em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Classificação	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Área – (%)						
0-8	9,0	-	0,1	33,1	35,6	8,0	8,5
8-11	45,7	6,9	40,7	44,6	23,4	83,7	37,3
11-14	33,4	88,5	26,9	12,9	37,3	8,3	32,4
> 14	11,9	4,6	32,3	9,4	3,7	-	21,8
Área total (ha)	1,2	1,2	3,5	5,2	4,4	1,9	3,1

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2.

Dentre os sistemas de manejo estudados, o AGP foi o que apresentou menor quantidade de área susceptível a erosão o que, provavelmente, deve-se, segundo Aguiar et al. (2006), às práticas de manejo adotadas, como por exemplo, a presença de árvores,

incorporação do material vegetal, proveniente do rebaixamento das árvores e do corte da leucena e o cultivo em aléias, formando barreiras espaçadas a cada 3,0 m, contribuindo para diminuição da velocidade da enxurrada e menor arraste de partículas do solo. A quantidade de área com maiores riscos de erosão (0 a 8 cm) encontrada no SILV superior a condição de VN₂ pode ser atribuída às condições de relevo e do predomínio de solos mais rasos nesta área já que este sistema é bastante conservador, pois Aguiar et al. (2006) verificaram que este tratamento proporcionou perdas de sedimentos e água inferiores a condição natural.

O maior percentual de área ocupando a faixa de 0 a 8 cm no sistema TR₁ e 8 a 11 cm no TR₂ em relação aos demais tratamentos pode ser associada às práticas agrícolas convencionais que proporcionaram uma maior exposição do solo aos agentes erosivos. Entretanto, no CIP, a cobertura do solo promovida por gramíneas originadas do período de pousio provavelmente favoreceu a redução dos riscos de erosão (Aguiar et al., 2006).

O maior percentual de área suscetível a erosão encontrado na VN₂ em relação à área VN₁ ratificam com os resultados obtidos por Aguiar et al. (2006) quando observou que a área de VN₂ promoveu maior perda de sedimento quando comparado a VN₁ devido a sua maior quantidade de argila dispersa em água, menor cobertura natural rasteira e maior densidade de árvores que propiciam a formação de gotas de chuvas maiores e com energia proporcional, favorecendo o arraste das partículas do solo pela enxurrada.

4.6.2. Parâmetros do semivariograma

Os semivariogramas para os dados de espessura do horizonte A foram ajustados pelo modelo gaussiano e esférico de acordo com o índice de qualidade do ajuste (Tabela 21).

A espessura do horizonte A nos tratamentos estudados apresentou uma forte dependência espacial segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), pois observou-se o predomínio de relações entre o efeito pepita e o patamar menores que 25% indicando que a variabilidade espacial desta variável não é aleatória sendo influenciada principalmente pelas propriedades intrínsecas do solo.

A distância máxima para a variável ser correlacionada espacialmente variou de 19 a 86 m. Assim, a avaliação da espessura do horizonte A na área estudada requer um

espaçamentos entre as amostras de solo de no máximo 19 m para obtenção de resultados mais precisos.

Tabela 21. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para a espessura em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos						
	CIP	VN ₁	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	VN ₂
	Espessura do horizonte A						
Modelo	Gaus	Esf	Esf	Gaus	Esf	Gaus	Gaus
C ₀ ⁽¹⁾	5,1	2,9	3,6	1,8	0,2	0,8	3,4
C ₀ + C ₁ ^c	13	11	26	25	17	6	28
Alcance	72	21	46	86	19	37	55
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	13	26	20	7	1	13	12
IQA	0,0009	0,2844	0,1156	0,2855	0,0260	0,0026	0,0295

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar

4.6.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

Na distribuição espacial da espessura do horizonte A verificou-se o predomínio de manchas com valores de 4 a 12 cm e a existência de pontos isolados com espessuras superiores a 20 cm (Figura 27).

O sistema AGP apresentou na direção oeste espessura superior a 20 cm, enquanto que na parte leste foi encontrado valores de 8 a 12 cm. O incremento ou a menor espessura não foi associado ao relevo e a declividade, permitindo inferir que a erosão hídrica neste sistema não está alterando o padrão espacial da espessura do horizonte A. Já o SILV apresentou o predomínio de valores que variam de 6 a 12 cm, na região central, porém na direção noroeste cujo relevo é do tipo côncavo e de menor altitude existem manchas mais escuras com espessuras de 16 a 22 cm. Este comportamento também foi observado na área VN₂, indicando que o relevo está influenciando a espessura do horizonte A, mesmo sob condição de vegetação natural. Estes resultados indicam que esta característica pode ser intrínseca ao solo, já que neste local verificou-se a ocorrência de muitas pedras e pedregulhos característica esta bastante diferente das demais áreas estudadas.

Na área CIP verificou-se que existem nas direções nordeste e sudoeste locais com espessura acima de 14 cm, enquanto que na região intermediária de relevo mais elevado há manchas com 8 a 12 cm de espessura, o que pode indicar que a camada mais superficial deste solo está sendo transportada do topo para os locais de menor altitude, alterando a capacidade produtiva deste solo. Por outro lado, a VN₁ foi composta principalmente por manchas que variam de 10 a 12 cm, sendo que nesta não foi possível verificar uma associação do relevo com a espessura do horizonte A.

De modo geral, o TR₁ e TR₂ apresentaram menores espessuras do horizonte A na parte sul (4 a 10 cm) em relação a parte norte, onde observou-se valores de 12 a 16 cm. Avaliando a topografia da área TR₁ observou-se que nos locais de relevo convexo e declividade de 15 a 35%, a espessura do horizonte A é reduzida em relação às regiões sudoeste e norte, cujo relevo é côncavo e plano, respectivamente. Na área TR₂ uma maior uniformidade foi encontrada em relação a VN₂ e aos SAF's, sendo a direção noroeste composta por manchas de 10 a 12 cm, enquanto que, ao sul, estas são reduzidas para 6 a 10 cm. É importante destacar que estas áreas são formadas por relevo plano a suave ondulado e com variações de altitude inferiores, no caso do TR₁, às observadas na área SILV, indicando que o predomínio de espessuras variando de 4 a 10 cm pode ser devido às práticas de manejo adotadas, pois a não cobertura do solo e queimadas favorecem as perdas do horizonte A.

Os dados de espessura do horizonte A foram agrupados em faixas de 0 a 8, 8 a 11, 11 a 14 e maior que 14 cm com o objetivo de verificar o comportamento espacial dos dados quanto aos efeitos da erosão nos sistemas de manejo estudados (Figura 28). No AGP, manchas caracterizando riscos de erosão, foram encontradas em locais pouco expressivos enquanto que na VN₂ isto não ocorreu. Já as classes de maior frequência foram as que não apresentaram riscos, e as de depósito situadas na direção oeste e pouco erodida localizada na porção leste. Embora, este sistema esteja sendo pouco afetado pela erosão hídrica, a classificação espacial obtida neste estudo torna possível sugerir a divisão desta área em três zonas de manejo onde uma rotação de culturas deve ser implantada com o objetivo da zona onde encontra-se pouco risco de erosão ser submetida a um pousio, com o objetivo de recuperar e manter a sustentabilidade deste sistema.

Por outro lado, na área SILV observou-se a existência de uma mancha considerável na região central com valores de 0 a 11 cm, indicativa de riscos de erosão, demonstrando que, embora os solos sejam mais rasos, as condições de relevo tornam

esta área bastante susceptível à erosão. Entretanto, apesar deste sistema ser bastante eficiente no controle da erosão (Aguiar et al., 2006), o que talvez tenha contribuído para não intensificar ainda mais estes riscos, recomenda-se definir zonas de manejo com implantação de práticas para uma melhor recuperação desta área.

O CIP apresentou locais de depósito nas partes baixas e erodidas nos pontos mais altos, indicando um possível transporte das partículas de solo das partes mais altas para as de menores altitudes confirmando a hipótese de que este sistema não está sendo eficiente em reduzir os efeitos da erosão. Já o predomínio da classe de 0 a 8 cm foi observado na área VN₁, porém esta apresentou uma maior suscetibilidade à erosão quando comparada a área VN₂ confirmando os efeitos da ação antrópica que foi submetida de acordo com o histórico de uso da área.

Nos sistemas TR₁ e TR₂ ocorreu o predomínio da classe de 0 a 8 e 8 a 11 cm, indicando que existe uma maior extensão de áreas susceptíveis aos efeitos da erosão, porém, locais com pouca suscetibilidade a erosão (11 a 14 cm) também foram encontrados nestas áreas. A tendência é que a adoção de práticas convencionais intensifique o percentual de áreas com maiores riscos de erosão, o que pode comprometer a produtividade agrícola e aumentar a degradação nos sistemas convencionais. Para tanto, é necessário, principalmente para os sistemas tradicionais, definir zonas de manejo com períodos de pousio e práticas conservacionistas para amenizar os efeitos da erosão nestes sistemas.

Os resultados obtidos permitem ressaltar a eficiência dos mapas de distribuição espacial na avaliação dos sistemas de manejo, pois, desta forma, foi possível visualizar as regiões mais susceptíveis a ação dos agentes erosivos, o que permite definir com maior precisão o comportamento dos sistemas de manejo agroflorestal e convencional.

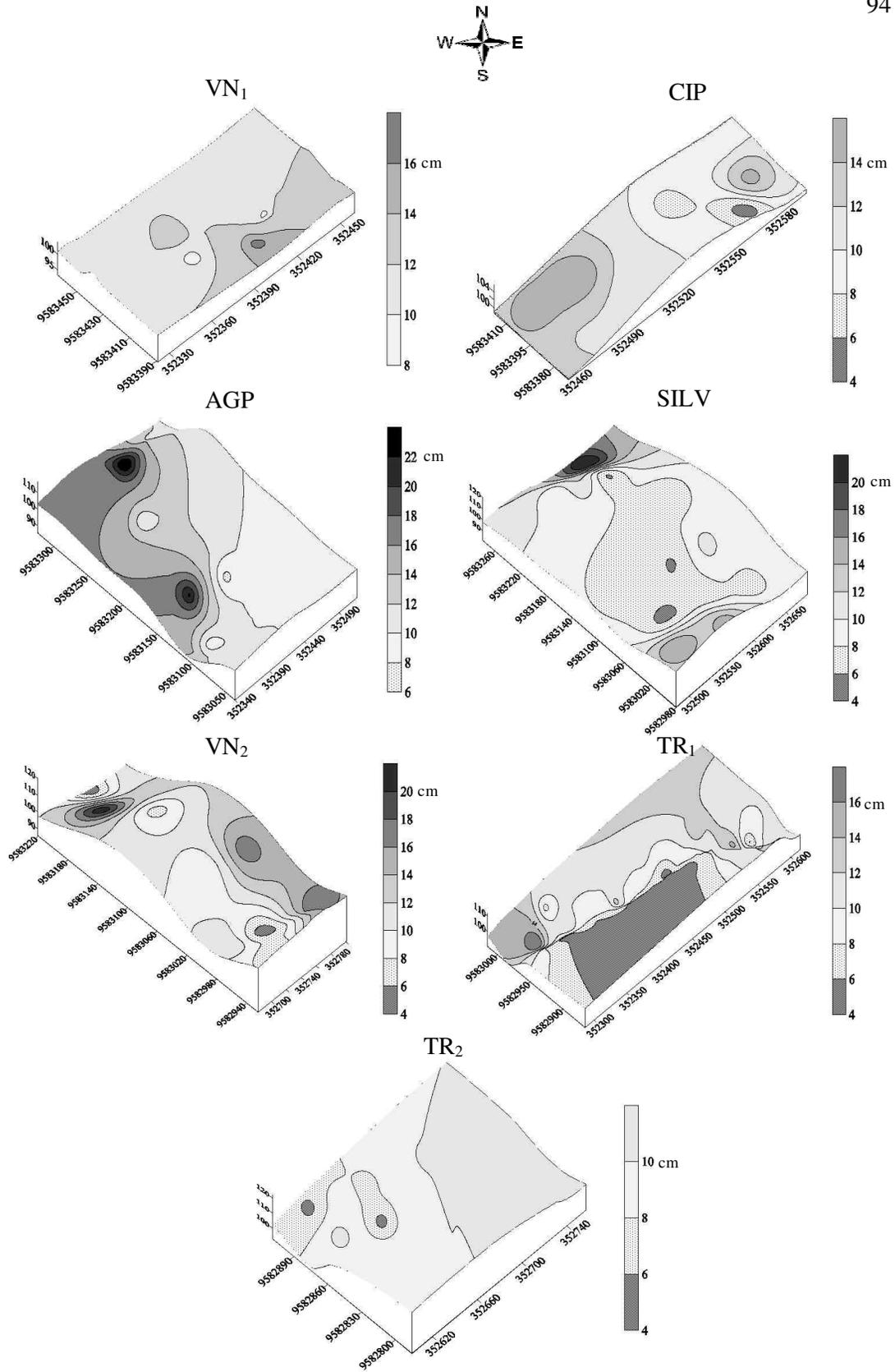


Figura 277. Distribuição dos valores de espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

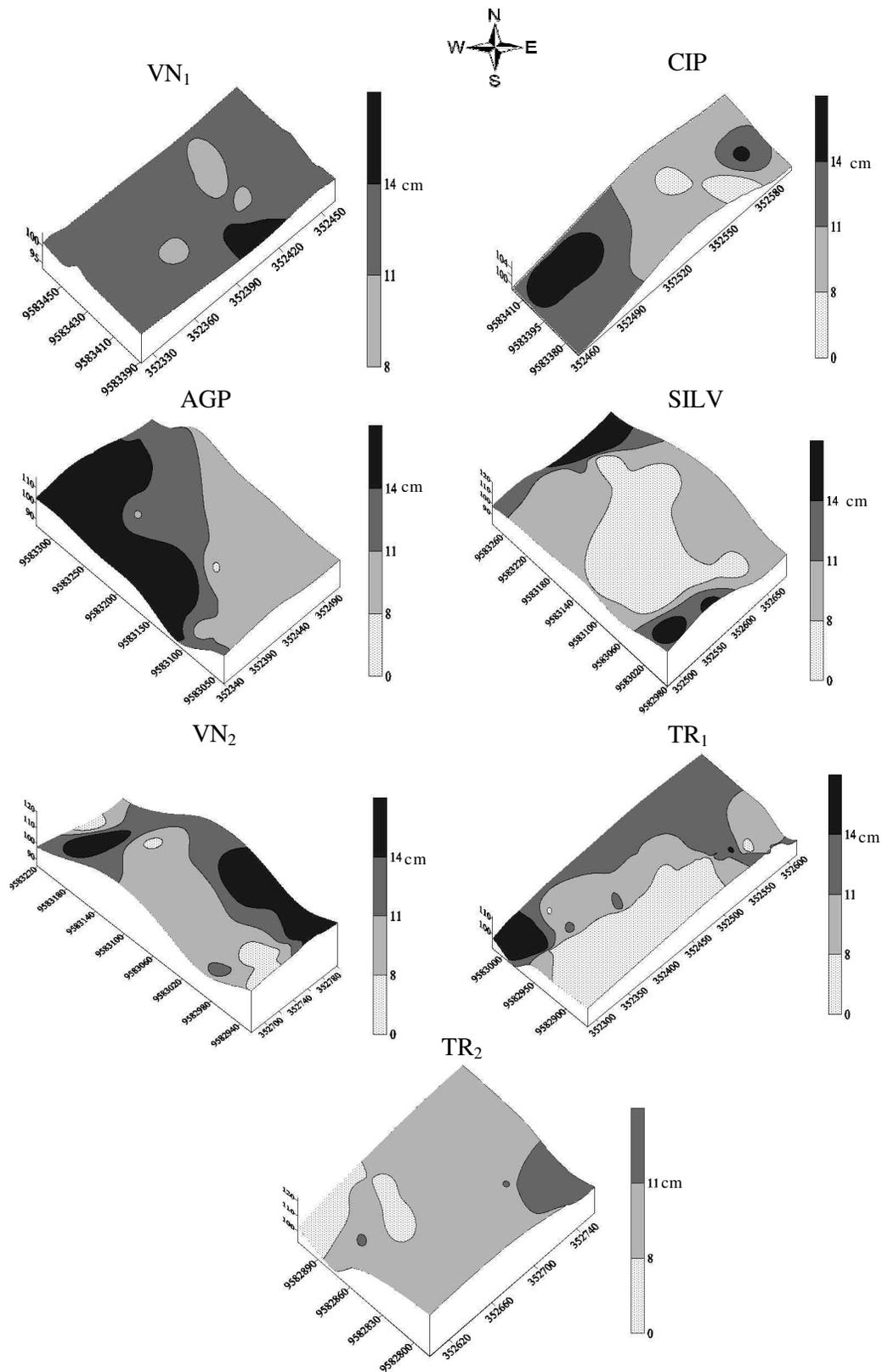


Figura 28. Classificação da espessura do horizonte A em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.7. Variação da massa de carbono nos diferentes sistemas de manejo estudados

4.7.1. Estatística descritiva

A análise descritiva dos resultados de massa para as formas de carbono orgânico total (COT), particulado (COP), associado (COA) e solúvel em água (CSA) em relação à área de referência é apresentada na Tabela 22.

As reduções e aumentos de massa observados neste estudo utilizaram valores de referência encontrados nas áreas de vegetação natural para cada classe de declividade e curvatura do terreno permitindo comparar os efeitos da erosão nos sistemas de manejo estudado em condições relevo semelhantes.

Tabela 22. Variação da massa de COT, COP, COA e CSA do solo no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo

Variação	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)					
Reduções	3,23	3,69	4,31	4,91	1,88
Aumentos	3,21	1,61	1,43	2,74	1,18
Carbono orgânico particulado – COP (Mg ha ⁻¹)					
Reduções	2,16	2,17	2,32	2,67	0,81
Aumentos	2,09	1,93	0,69	0,87	0,55
Carbono orgânico associado – COA (Mg ha ⁻¹)					
Reduções	3,43	4,04	6,47	5,57	1,85
Aumentos	4,21	3,44	3,60	5,04	1,72
Carbono solúvel em água – CSA (Mg ha ⁻¹)					
Reduções	9,04	11,29	14,72	15,01	10,88
Aumentos	6,89	18,30	8,91	5,86	5,60
Observações	41	67	74	28	41

em pousio.

As reduções de COT variaram de 1,88 a 4,91 Mg ha⁻¹ no período de 1997 a 2008, onde os tratamentos CIP, TR₁ e TR₂ promoveram perdas de 1,88; 4,31 e 4,91 Mg ha⁻¹ enquanto que no AGP e SILV estas foram de 3,23 e 3,69 Mg ha⁻¹. Considerando que essas perdas ocorrem na mesma proporção observou-se reduções de 171, 294, 335, 392 e 446 kg ha⁻¹ ano⁻¹ nos sistemas CIP, AGP, SILV, TR₁ e TR₂, respectivamente. Franco et al. (2002) quantificando a erosão na Zona da Mata mineira obteve resultados

superiores com perdas médias de carbono orgânico de $581 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em sistemas convencionais de café com capina expositora. Em relação ao tratamento CIP, observaram-se as menores perdas de carbono comparativamente aos demais tratamentos, resultado este semelhante ao observado por Aguiar et al. (2006). Segundo estes autores, como o período de pousio favoreceu o crescimento espontâneo de gramíneas os resultados obtidos não retratam as reais perdas ocorridas durante os cinco anos de cultivo intensivo a que essa área foi submetida.

De modo geral, verificou-se que o sistema AGP destacou-se em relação aos demais tratamentos por apresentar o maior equilíbrio em reduzir e aumentar as massas de COT, COP e COA. Já as áreas CIP, TR₂, SILV e TR₁ proporcionaram perdas de 61, 64, 70 e 75% e incrementos de 39, 36, 30 e 25%, respectivamente, enquanto que no AGP as perdas de COT foram de aproximadamente 50%. Além disso, observou-se que o sistema AGP promoveu uma redução de perdas de 9, 14 e 25% quando comparado às áreas TR₂, CIP e TR₁. Estes resultados concordam com os obtidos por Aguiar et al. (2006) na mesma área experimental quando verificaram que o sistema de manejo AGP reduziu as perdas de COT em 20% quando comparado ao manejo tradicional.

Em relação ao COP, verificou-se que as áreas TR₁, TR₂ e CIP destacaram-se por apresentar perdas de 86, 75 e 60%. Já nos sistemas agroflorestais AGP e SILV as perdas foram de 49 e 53% respectivamente, representando uma redução de até 37% quando comparado aos demais sistemas estudados (Tabela 22). As maiores perdas de COA ocorreram no TR₁ com uma média de $6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ (64%), enquanto que 59, 53, 52 e 47% do COA está sendo perdido nas respectivas áreas SILV, TR₂, CIP e AGP. Já para o CSA observou-se perdas variando de 9 a 15 Mg ha^{-1} , sendo nas áreas TR₂, CIP e TR₁ de aproximadamente 69, 66 e 62%. Já nos sistemas SILV e AGP os percentuais de CSA perdidos foram de 38 e 57%, respectivamente.

As maiores perdas de carbono proporcionadas pelos sistemas tradicionais em relação às demais áreas estudadas podem ser justificadas pelas elevadas perdas de solo encontradas nestes sistemas. Tais resultados, concordam com os obtidos por Silva et al. (2005) e Santos et al. (2007) quando verificaram em seus estudos que as perdas de carbono acompanham as perdas de solo devido este componente ser preferencialmente transportado e perdido pela ação dos agentes erosivos (Schick et al., 2000). Além disso, a menor cobertura proporcionada por estes sistemas aumenta a exposição da superfície do solo favorecendo a desagregação pelo impacto das gotas de chuva, a velocidade da

enxurada e o transporte de sedimentos ricos em matéria orgânica (Schaefer et al., 2002; Leite et al., 2003; Bertol et al., 2004).

Nos SAF's, a adição de matéria orgânica ao solo, proporcionada pelas podas e pela queda das folhas das árvores, contribui para melhorar as características físicas do solo, aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial (Franco et al., 2002) justificam os maiores aumentos e as menores perdas de carbono no solo.

De modo geral, o carbono solúvel foi mais facilmente transportado sendo este seguido pelo COA, COT e COP o que pode ser atribuído a maior labilidade do carbono solúvel quando comparado as demais formas estudadas, concordando com Schaefer et al. (2002) quando verificaram que existe uma perda seletiva da fração mais solúvel da matéria orgânica pela erosão hídrica. Já as maiores perdas de COA em relação ao COT e COP deve-se ao transporte preferencial das partículas mais finas e a maior contribuição da fração associada no COT do que a fração particulada. Assim, estes resultados apontam o CSA, dentre as estudadas, como a mais eficiente na avaliação dos efeitos da erosão hídrica podendo ser utilizado como indicador de movimento de solo. Estes resultados diferem de vários estudos que apontam o COT como o constituinte encontrado em maior quantidade no sedimento erodido (Silva et al., 2005; Bertol et al., 2004; Aguiar et al., 2006), entretanto poucos são os estudos que avaliam a susceptibilidade das diversas formas de carbono ao transporte pela enxurradas demonstrando a necessidade de pesquisas para melhor compreender estes processos.

O coeficiente de variação (CV) referente aos dados de perdas e aumentos de COT, COP, COA e CSA foram em média de 59, 61, 62, 64% (Tabela 23), o que segundo os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980) pode ser classificado como de variabilidade média para o COT e alta para as formas COP, COA e CSA. Bertol et al. (2004) encontraram um coeficiente de variação médio de 71% para as perdas de COT no sedimentos transportados.

O predomínio de coeficientes de assimetria e curtose positivos caracterizou a distribuição de frequência dos dados de perdas e aumentos indicando uma maior quantidade de valores situados acima e em torno da média. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero assim como a proximidade dos valores de média e mediana indicaram a tendência dos dados apresentarem uma distribuição normal, contudo o teste KS não foi significativo a 5% de probabilidade em algumas áreas estudadas o que pode ser atribuído a variabilidade espacial dos teores de carbono, densidade e espessura do solo utilizados para quantificar as perdas e aumentos destas formas de carbono.

Tabela 193. Estatística descritiva dos dados de massa para as variáveis COT, COP, COA e CSA do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)					
Média	4,22	2,85	5,11	3,99	2,09
Mediana	3,08	1,90	3,50	2,65	1,56
Mínimo	0,01	0,03	0,08	0,11	0,01
Máximo	20,08	18,41	28,84	13,87	9,72
CV ⁽¹⁾	68,01	67,37	62,43	50,37	49,76
Desvio Padrão	2,87	1,92	3,19	2,01	1,04
Assimetria	1,86	1,37	1,73	1,34	1,27
Curtose	1,74	1,65	1,72	0,50	1,08
KS ⁽²⁾	0,18	0,20	0,19	0,16*	0,12*
Carbono orgânico particulado – COP (Mg ha ⁻¹)					
Média	2,13	2,10	1,92	2,41	1,38
Mediana	1,98	1,42	1,20	1,81	1,41
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,13	0,01
Máximo	12,42	9,56	14,34	8,74	4,73
CV ⁽¹⁾	62,91	57,29	71,87	56,02	59,42
Desvio Padrão	1,34	1,10	1,38	1,35	0,82
Assimetria	1,85	1,10	1,54	1,39	1,32
Curtose	1,66	1,36	1,21	1,33	1,24
KS ⁽²⁾	0,17	0,16*	0,19	0,15*	0,13*
Carbono orgânico associado – COA (Mg ha ⁻¹)					
Média	5,71	3,91	6,08	5,86	1,88
Mediana	4,22	2,63	5,33	4,67	0,88
Mínimo	0,07	0,01	0,17	0,41	0,01
Máximo	24,05	20,58	27,05	22,87	14,44
CV ⁽¹⁾	65,32	61,38	58,06	52,73	71,81
Desvio Padrão	3,73	2,40	3,53	3,09	1,35
Assimetria	1,42	1,62	1,19	1,47	1,38
Curtose	0,79	1,80	0,48	1,63	1,33
KS ⁽²⁾	0,19	0,21	0,17*	0,16*	0,20
Carbono solúvel em água – CSA (Mg ha ⁻¹)					
Média	8,52	13,69	12,13	11,27	9,20
Mediana	7,36	10,49	10,58	11,13	8,22
Mínimo	0,08	0,11	0,02	1,29	0,10
Máximo	29,95	57,03	52,63	26,56	22,99
CV ⁽¹⁾	65,84	69,90	61,17	64,12	58,91
Desvio Padrão	5,61	9,37	7,42	7,22	5,42
Assimetria	1,04	1,45	1,37	0,31	0,54
Curtose	0,07	1,40	1,08	-0,81	-1,03
KS ⁽²⁾	0,16*	0,20	0,19	0,14*	0,14*
Observações	41	67	74	28	41

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 2, CIP: cultivo intensivo em pouso VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade

4.7.2. Parâmetros dos semivariogramas

Os parâmetros utilizados durante a interpolação dos dados de massa para as variáveis COT, COP, COA e CSA são apresentados na Tabela 24. De acordo com o índice de qualidade do ajuste (IQA) verificou-se que o modelo esférico foi o que proporcionou um melhor ajuste para as formas de carbono estudadas, porém os modelos exponencial e gaussiano também apresentaram menores IQA em alguns sistemas de manejo.

Tabela 294. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de COT, COP, COA, CSA em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Exp	Esf	Gaus	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	7,68	0,38	5,28	1,80	0,76
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	48,00	17,48	44,00	30,00	4,74
Alcance	10,29	24,00	28,50	48,80	70,19
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	16,00	2,17	11,99	6,00	16,13
IQA ⁽⁴⁾	0,09	0,06	0,03	0,03	0,04
Carbono orgânico particulado – COP (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Exp	Esf	Gaus	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	1,80	2,44	0,78	0,78	0,12
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	12,00	6,59	6,86	6,00	1,16
Alcance	12,90	62,00	26,59	14,30	112,47
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	14,99	37,07	11,36	13,00	10,31
IQA ⁽⁴⁾	0,03	0,05	0,01	0,04	0,10
Carbono orgânico associado – COA (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Gaus	Exp	Gaus	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	21,86	5,04	4,86	3,90	0,93
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	81,00	36,00	54,20	65,00	9,21
Alcance	19,19	38,00	34,20	18,80	83,75
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	26,99	14,00	8,97	6,00	10,10
IQA ⁽⁴⁾	0,08	0,17	0,01	0,03	0,10
Carbono solúvel em água – CSA (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Gauss	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	3,90	4,20	27,89	7,20	6,00
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	130,00	420,00	288,29	180,10	150,15
Alcance	13,30	36,00	39,89	11,20	28,80
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	3,00	1,00	9,67	4,00	4,00
IQA ⁽⁴⁾	0,09	0,07	0,02	0,00	0,06

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade de ajuste.

4.6.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

As perdas e aumentos de carbono orgânico total, particulado, associado e solúvel também foram avaliados através dos mapas de isolinhas para melhor compreender a distribuição espacial das variáveis estudadas (Figura 29, 30, 31 e 32).

O tratamento AGP apresentou manchas escuras que caracterizam maiores aumentos de COT e COA principalmente na direção oeste cujo relevo é côncavo com declividades de 0 a 8%. Porém, perdas de COT e COA assim como incrementos de COP e CSA também foram observadas em relevo côncavo com declividades de 15 a 25% situados na direção leste. Por outro lado, na parte norte cujas altitudes variam de 110 a 116 m com forma convexa e declives de 0 a 25% existem pequenas manchas que caracterizam a perda destas formas de carbono.

De modo geral, na área SILV observou-se que os dados de massa referentes ao COT e COP apresentaram uma distribuição mais uniforme do que as formas COA e CSA. Contudo, aumentos de COT, COP, COA e CSA foram observados na parte mais elevada, situada na direção norte em declividades que variam de 25 a 35%. Em locais com declives de 15 a 25% observou-se pequenas manchas caracterizando perdas de COA em torno de 9 a 18 Mg ha⁻¹, porém em uma região situada mais ao norte em que apresenta condição semelhantes de relevo observou-se incrementos de COA. Apesar da maior variabilidade, o sistema SILV destacou-se em relação aos demais tratamentos por apresentar o predomínio de classes que indicam aumentos de 10 a 15 Mg ha⁻¹ de CSA. O predomínio de incrementos destas formas de carbono em condições de relevo mais favoráveis à ação dos agentes erosivos apontam a eficiência deste sistema no controle da erosão hídrica.

O sistema TR₁ apresentou na direção norte aumentos de COT, COP e COA enquanto que na porção sul, em condições semelhantes de relevo, observou-se a tendência destas formas de carbono serem perdas. Nesta área também verificou-se a distribuição uniforme, comuns ao COT, COP e COA, situada na direção noroeste. Para o CSA verificou-se uma maior variabilidade, onde na direção norte e em pequenos pontos situados no fundo do vale ocorrem manchas bem definidas indicando aumentos de 5 a 10 Mg ha⁻¹ e na parte sul observaram-se perdas que variaram de 15 a 35%. A tendência de aumentar o COT e COA na área TR₂ ocorreu no sentido das extremidades norte-sul para direção central cujo relevo é de baixada e do tipo côncavo. Além disso, observaram-se também incrementos de COP e CSA nas partes mais altas localizadas nas extremidades, o que pode ter sido transportado das áreas vizinhas.

O CIP destacou-se por apresentar uma maior uniformidade na distribuição dos dados de reduções e aumentos de COT, COP e COA em relação aos demais tratamentos. Entretanto, verificou-se a tendência de manchas mais escuras que caracterizam aumentos de COT e COA nas direções nordeste e sudoeste onde situam-se as menores altitudes e perdas na região do topo. Já nas variáveis COP e CSA está tendência não foi bem definida, porém observou-se o predomínio de aumentos de CSA na direção sudoeste e perdas na porção nordeste.

A análise dos mapas de isolinhas indicou as áreas CIP e TR₂ como as mais afetadas pela ação dos agentes erosivos devido o padrão mais uniforme em relação as demais áreas estudadas. Por outro lado, os SAF's, mesmo em condições de relevo mais favorável a ação dos agentes erosivos, proporcionaram tanto uma maior variabilidade espacial como menores perdas de carbono nas regiões de maior altitude, declividade e forma convexa o que demonstra a eficiência destes sistemas no controle das perdas de carbono no solo.

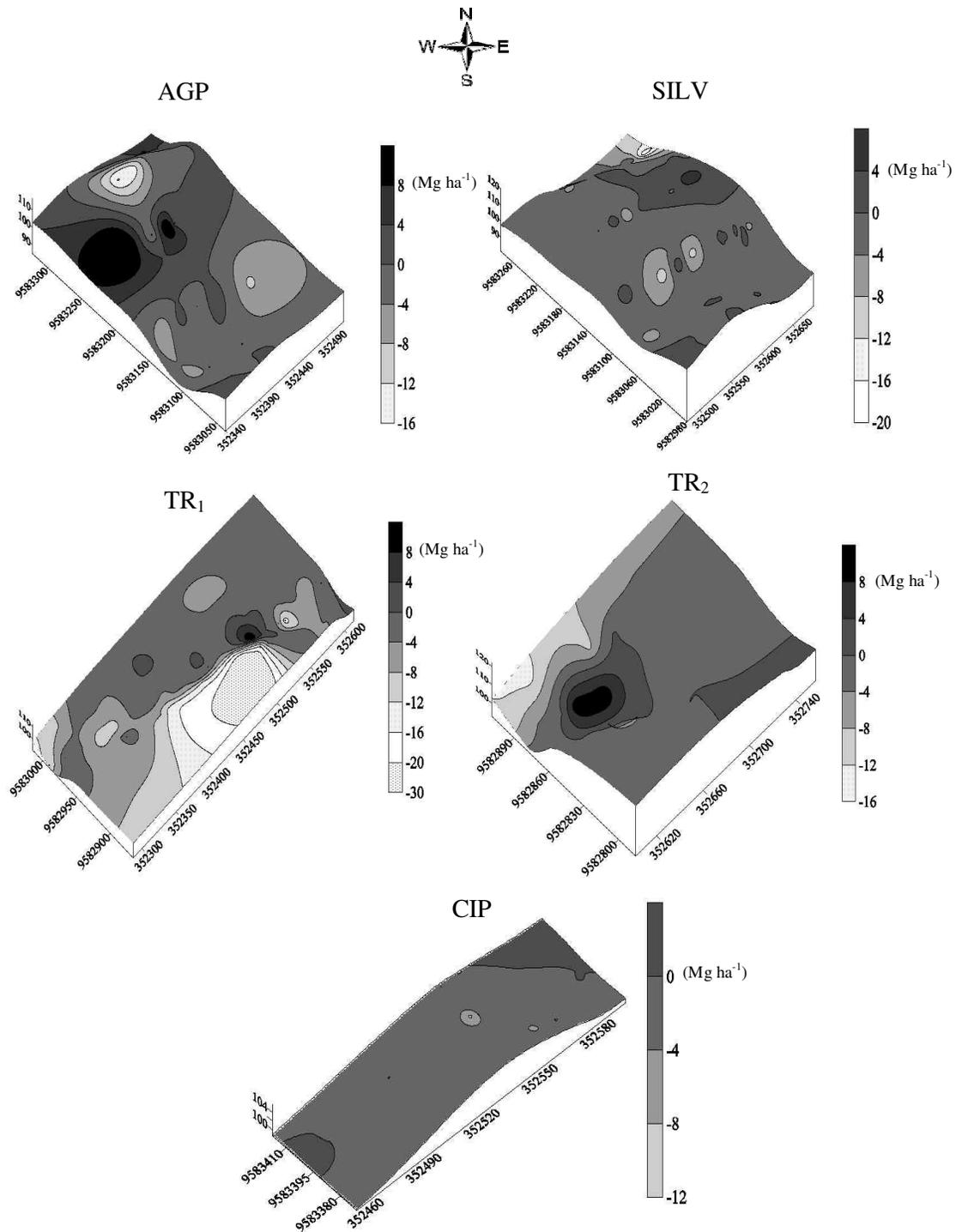


Figura 29. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico total (COT) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

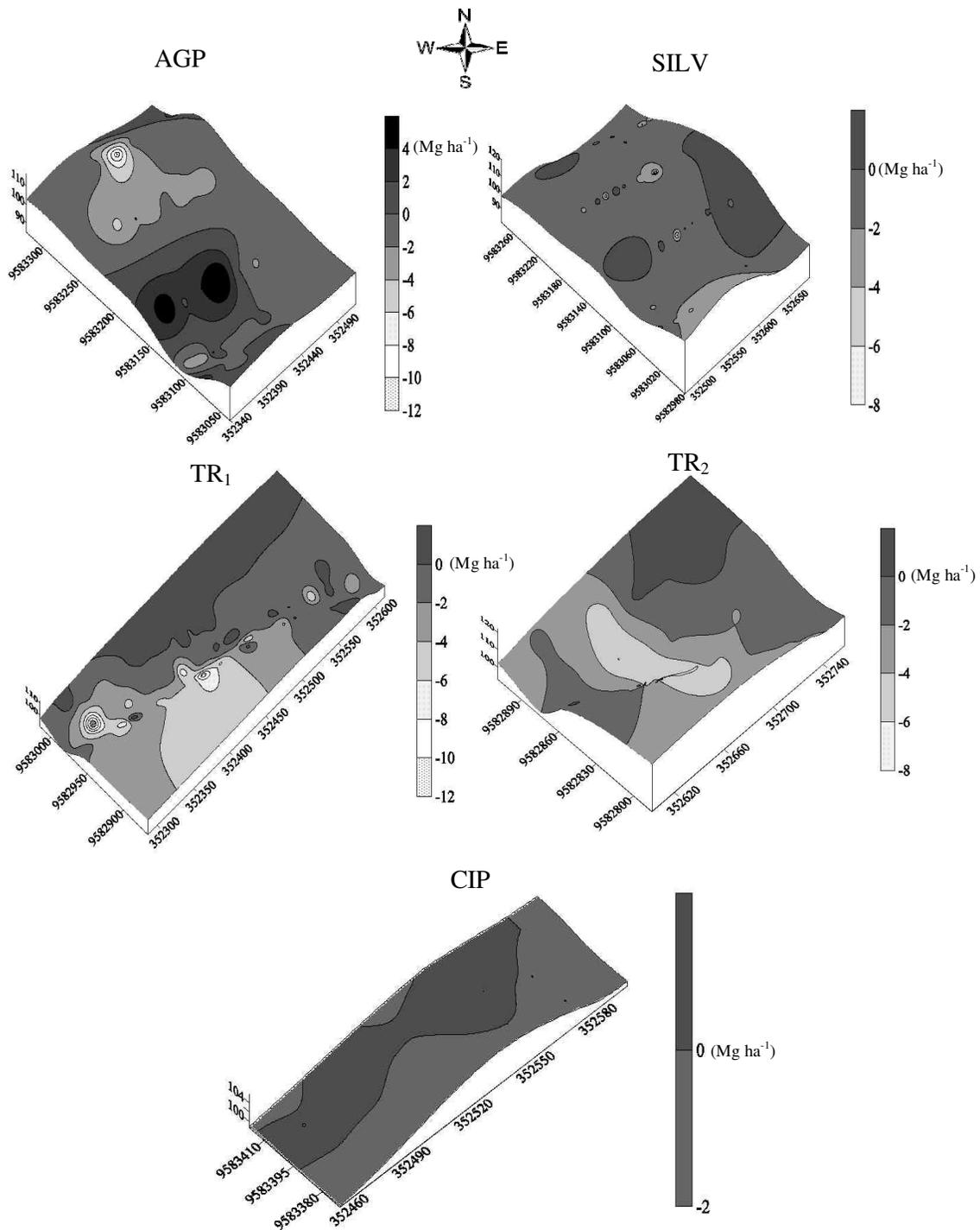


Figura 30. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico particulado (COP) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

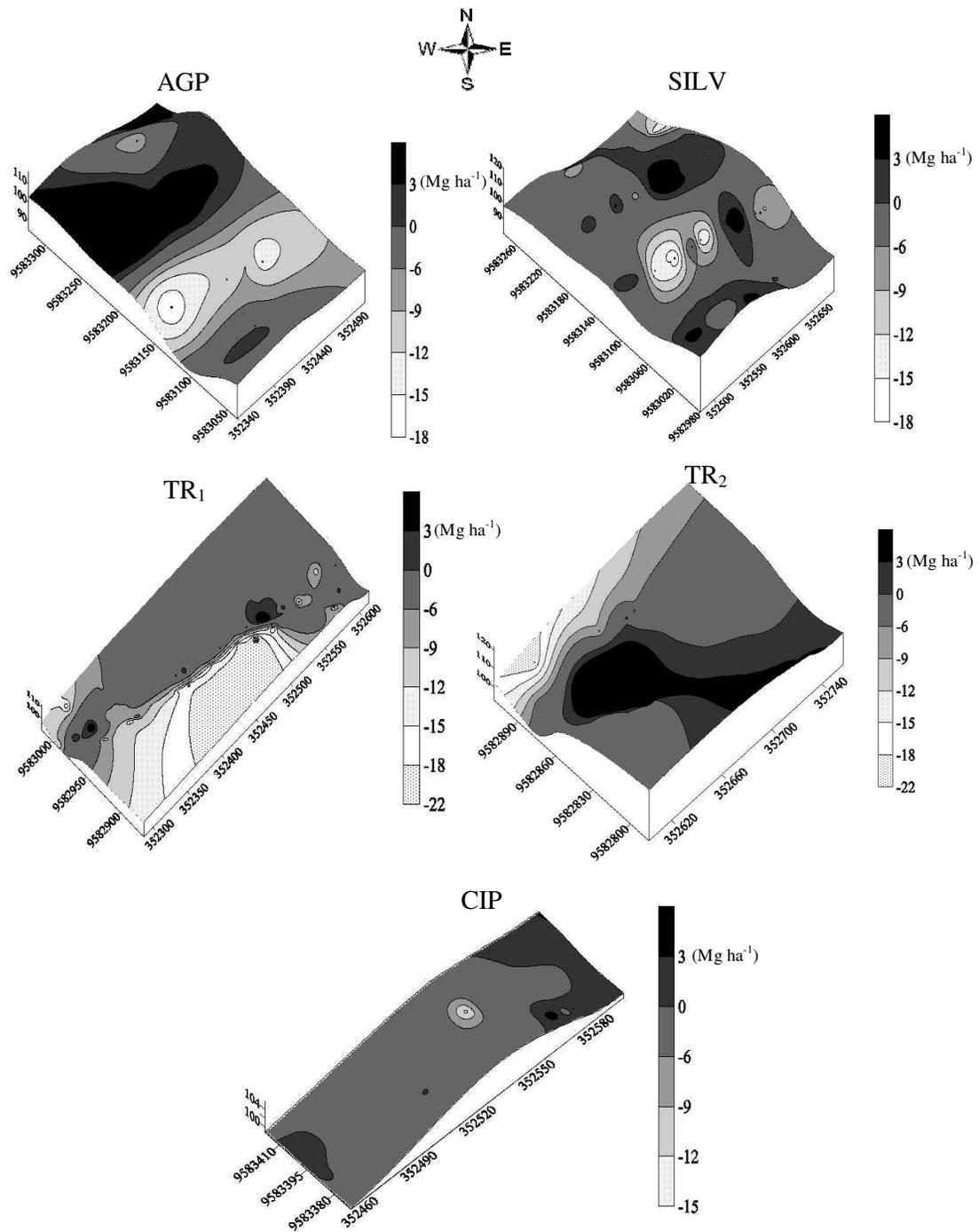


Figura 31. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico associado (COA) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

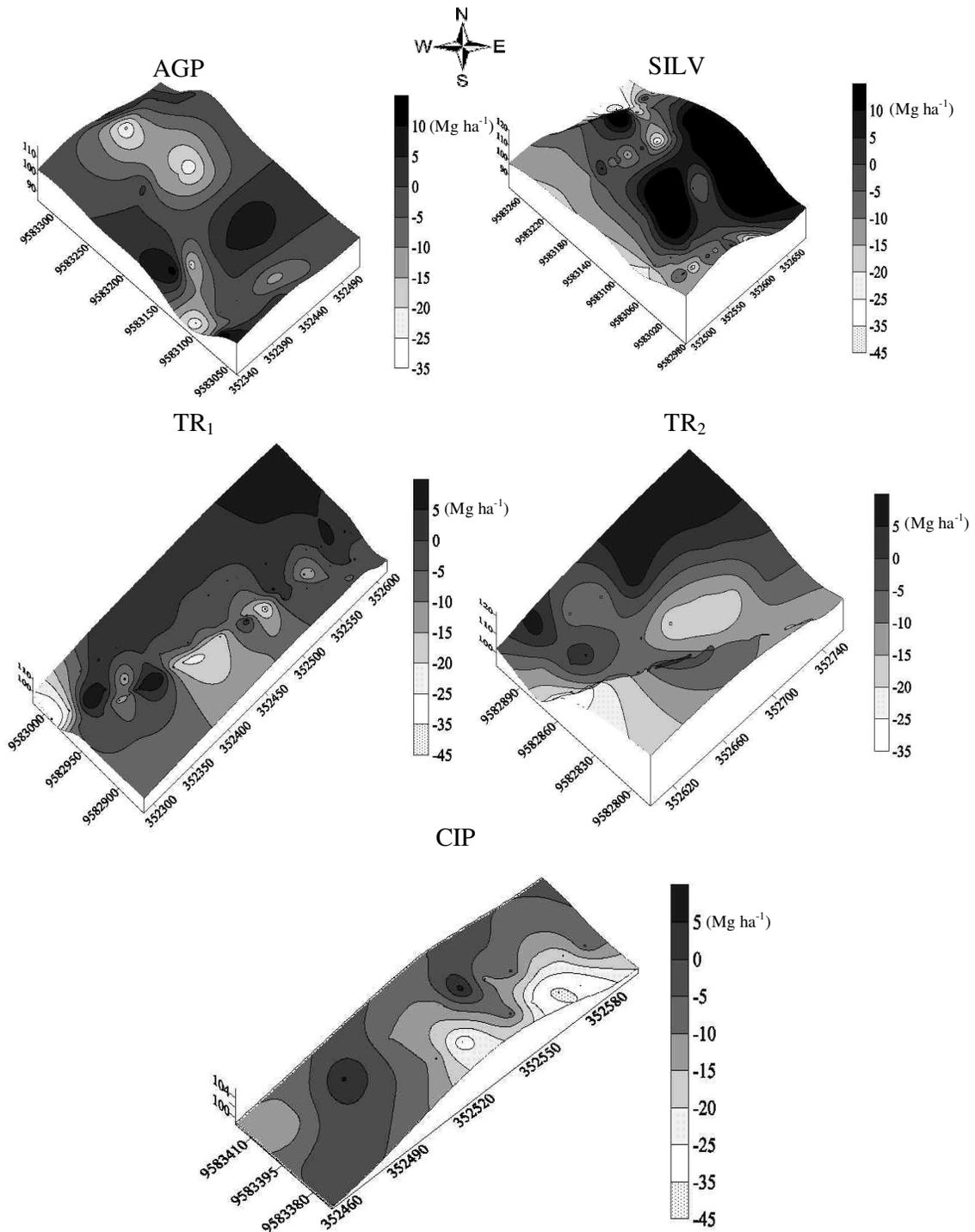


Figura 302. Distribuição espacial da massa de carbono orgânico solúvel (CSA) no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.8. Variação da massa de P disponível, K e Na trocáveis

4.8.1. Estatística descritiva

No período de 1997 a 2008 as perdas de P disponível apresentaram uma amplitude de 2,32 a 3,64 Mg ha⁻¹, sendo o sistema SILV e CIP os que proporcionaram as menores perdas (2,32 e 2,74%) e o AGP os maiores incrementos (4,99 Mg ha⁻¹), enquanto que nas áreas AGP, TR₁ e TR₂ as perdas de P foram intensificadas para 2,94; 2,42 e 3,64 Mg ha⁻¹ (Tabela 25). Este elevado incremento de P disponível no AGP em relação aos demais sistemas estudados, pode ser associado à poda dos indivíduos arbóreos que estimulam o bombeamento de nutrientes de maneira intensiva pelas raízes e de uma maior atuação da biota do solo, em função do incremento periódico da matéria orgânica (Peneireiro, 1999; Lehmann et al., 2001). Por outro lado, as maiores perdas encontradas no sistema TR₂ está associado as mais elevadas perdas de solo encontradas nesta área, concordando com pesquisas que demonstram haver uma relação entre perda de solo e P disponível em solos cultivados intensivamente (Schaefer et al., 2002; Bertol et al., 2004).

Apesar das baixas perdas de Na trocável obtidas em relação aos demais nutrientes, verificou-se que o sistema TR₂ está promovendo perdas e aumentos superiores ao SILV, AGP, TR₁ e CIP que apresentaram perdas de 8,63; 8,44; 5,85 e 5,17 kg ha⁻¹. Por outro lado, as perdas de K trocável foram de 64 a 193 kg ha⁻¹, sendo estas de 64, 120, 125, 136 e 193 kg ha⁻¹ nas respectivas áreas CIP, AGP, TR₁, SILV e TR₂. A baixa perda na área CIP provavelmente deve-se ao período de pousio que a mesma encontra-se desde 2002, enquanto no SILV estas foram intensificadas pela forma acidentada do relevo já que este sistema é bastante conservador. Comparando os sistemas de manejo, observou-se que o AGP promoveu reduções de 61% nas perdas de K trocável em comparação ao TR₂ (Tabela 25).

Comportamento semelhante foi observado por Santos et al. (2007) quando verificaram a eficiência de sistemas agrícola com manutenção da cobertura morta em reduzir as perdas de K em 93% em relação a condições de solo descoberto. Neste sentido, Bertol et al. (2004) também observaram que a semeadura direta pode reduzir em 96 e 97% as perdas de P disponível e K trocável em relação ao preparo convencional.

Tabela 25. Variação dos dados de massa de P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
		Fósforo disponível – P (Mg ha ⁻¹)			
Reduções	2,94	2,32	2,42	3,64	2,76
Aumentos	4,99	2,30	1,70	4,70	2,73
		Sódio trocável – Na (kg ha ⁻¹)			
Reduções	8,44	8,63	5,85	8,93	5,17
Aumentos	4,57	5,92	7,51	10,92	4,68
		Potássio trocável – k (kg ha ⁻¹)			
Reduções	120,45	136,62	125,13	192,75	64,17
Aumentos	117,65	96,62	111,32	194,01	80,81
Observações	41	67	74	28	41

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio

As perdas de carbono orgânico, P disponível, Na e K trocável tiveram a mesma tendência que as perdas de solo, principalmente na área TR₂ concordando com Bertol et al. (2004) e Silva et al. (2005). As variáveis químicas estudadas apresentaram a seguinte tendência: P > K > Na, discordando dos resultados obtidos por Schafer et al. (2002) e Aguiar et al. (2006) quando verificaram as perdas destes elementos no sedimento erodido.

Este resultado pode ser atribuído a elevada variabilidade espacial encontrada na área em estudo para os dados de P disponível, os quais também foram observados por Maia et al. (2006) e Nogueira et al. (2008a) em estudos desenvolvidos na mesma área experimental. O tipo de solo e as práticas de manejo também podem estar influenciando as perdas deste nutriente, pois Nogueira et al. (2008b) verificaram na mesma área em estudo que os sistemas convencionais promoveram aumentos das formas de P disponível a partir da mineralização do P orgânico tornando este nutriente mais susceptível a adsorção em virtude do Luvisolo possuir um horizonte B_t com acúmulo de argila o que, segundo Nunez et al. (2003), favorece a adsorção e o transporte pelas enxurradas justificando as maiores perdas deste nutriente e a tendência das perdas de P está diretamente relacionada às de solo, sobretudo em áreas manejadas de forma intensiva.

Os dados de perdas e aumentos de P disponível, Na e K trocável apresentaram um CV médio de 67, 60, 65%, respectivamente. De acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), o Na trocável apresentou variabilidade média enquanto

que o P disponível e K trocável foram caracterizados com um alto coeficiente de variação (Tabela 26).

Tabela 206. Estatística descritiva dos valores de massa para as variáveis P disponível, Na e K trocáveis em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
Fósforo disponível – P (Mg ha ⁻¹)					
Média	3,61	2,40	2,17	4,41	2,43
Mediana	3,05	2,09	1,54	3,16	2,02
Mínimo	0,86	0,10	0,05	0,01	0,04
Máximo	19,62	12,84	14,73	20,38	10,72
CV ⁽¹⁾	73,40	62,50	68,66	69,16	63,79
Desvio Padrão	2,65	1,50	1,49	3,05	1,55
Assimetria	1,80	1,54	2,34	1,49	1,30
Curtose	1,53	1,63	1,79	1,73	0,67
KS ⁽²⁾	0,15	0,14*	0,20	0,20	0,15*
Sódio trocável – Na (kg ha ⁻¹)					
Média	7,89	7,44	6,81	10,30	4,86
Mediana	6,87	5,23	4,08	8,22	3,70
Mínimo	0,14	0,30	0,10	0,83	0,02
Máximo	29,77	28,99	60,07	71,14	19,15
CV ⁽¹⁾	56,91	55,64	64,02	63,79	58,02
Desvio Padrão	4,49	4,14	4,36	6,57	2,82
Assimetria	1,27	1,03	1,67	1,21	1,07
Curtose	0,70	0,13	1,74	1,42	0,47
KS ⁽²⁾	0,14*	0,10*	0,19	0,15*	0,13*
Potássio trocável – k (kg ha ⁻¹)					
Média	59,70	76,52	67,95	78,07	48,56
Mediana	59,43	61,86	60,68	69,60	42,77
Mínimo	50,78	10,69	10,70	10,29	10,60
Máximo	302,14	323,10	349,06	349,68	238,91
CV ⁽¹⁾	64,90	65,01	65,32	66,13	63,22
Desvio Padrão	38,75	49,75	44,39	51,63	30,70
Assimetria	0,96	1,40	1,70	1,20	1,89
Curtose	-0,07	1,38	1,59	0,90	1,75
KS ⁽²⁾	0,16*	0,18	0,21	0,19	0,17*
Observações	41	67	74	28	41

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Teste de Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

Os coeficientes positivos de assimetria e curtose foram predominantes nos valores de perdas e aumentos de P disponível, Na e K trocáveis, caracterizando um conjunto de dados com valores situados acima e com uma maior concentração em torno da média (Tabela 26). As medidas descritivas e o teste KS indicaram que os dados de Na e K trocáveis seguem uma distribuição normal, porém para P disponível e K trocável

verificou-se que o teste KS não foi significativo para a maioria das áreas estudadas.

4.8.2. Parâmetros dos semivariogramas

Na Tabela 27, observam-se os parâmetros dos semivariogramas utilizados para interpolação dos dados de perdas e aumentos das variáveis P disponível, Na e K trocáveis. Os menores IQA foram obtidos quando os dados de P foram ajustados aos modelos gaussiano e exponencial, enquanto que para o Na os modelos esférico e gaussiano proporcionaram um melhor ajuste. Já o K foi caracterizado com um menor IQA quando ajustado ao modelo gaussiano.

Tabela 217. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de P disponível e Na e K trocáveis em Luvissoles sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
P disponível – P (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Exp	Gaus	Gaus	Exp	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	3,50	1,31	0,82	7,35	0,14
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	33,25	11,18	8,91	49,12	14,46
Alcance	10,12	27,00	38,53	24,20	12,67
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	10,52	11,72	9,20	14,96	0,97
IQA ⁽⁴⁾	0,06	0,09	0,01	0,06	0,01
Na trocável - (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Esf	Exp	Gaus	Gaus	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	10,00	7,69	1,82	4,21	0,47
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	100,20	110,00	149,40	415,82	42,32
Alcance	28,90	38,00	22,80	39,97	44,67
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	10,00	6,99	1,22	1,01	1,11
IQA ⁽⁴⁾	0,02	0,05	0,01	0,03	0,01
K trocável (Mg ha ⁻¹)					
Modelo	Gaus	Gaus	Gaus	Esf	Esf
C ₀ ⁽¹⁾	31,00	42,30	32,15	45,60	41,69
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	130,24	163,56	120,00	350,00	158,74
Alcance	35,60	24,00	34,21	29,76	45,34
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	23,80	25,46	26,79	13,03	26,26
IQA ⁽⁴⁾	0,27	0,07	0,01	0,08	0,01

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade de ajuste.

De um modo geral, observou-se a existência de uma forte dependência espacial para os dados de perdas e aumentos de P disponível e Na e K trocáveis. Contudo, as áreas TR₁ e CIP apresentaram uma moderada dependência espacial para a variável K trocável indicando que fatores extrínsecos do solo como práticas de manejo estão influenciando a variabilidade espacial nestes sistemas.

Os dados de perda e aumentos para o P disponível e Na e K trocáveis, apresentaram alcances de 10 a 39, 23 a 45 e de 24 a 45 m, respectivamente. As áreas TR₁ e TR₂ foram caracterizadas com os maiores alcances para a variável P disponível, enquanto que comportamento oposto foi observado no sistema AGP. A área de CIP destacou-se por apresentar os maiores alcances em relação aos demais tratamentos para os dados de Na e K trocáveis, confirmando que sistemas agrícolas convencionais tendem a alterar o padrão espacial tornando a área cada vez mais uniforme a medida que as práticas inadequadas de manejo são intensificadas.

4.8.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

O tratamento AGP apresentou incrementos de P disponível principalmente na porção oeste e em pequenos locais situados nas regiões mais altas de relevo convexo e em declividades de 15 a 25%, porém nestas mesmas condições de relevo também foram observadas perdas de P disponível (Figura 33). Comportamento semelhante foi observado para a variável K trocável (Figura 35), onde aumentos foram encontrados, sobretudo na direção norte em relevo convexo e de maior altitude. Já para o Na trocável, perdas de 15 a 35 Mg ha⁻¹ foram encontradas nas partes mais altas, enquanto que em relevo côncavo observaram-se manchas características de aumentos deste nutriente (Figura 34). Porém, nos locais situados na direção leste, em que o relevo é côncavo e de menor altitude não aconteceram aumentos de Na trocável indicando que não existe um padrão definido de distribuição deste nutriente possível de ser associado ao relevo. Logo, o efeito da erosão não está intensificando o relevo o que provavelmente deve-se às práticas de manejo conservacionistas adotadas neste sistema.

Na área SILV a distribuição dos dados de P disponível indicou uma maior uniformidade quando comparado aos demais nutrientes estudados o que pode ser justificado pelo aporte constante de matéria orgânica existente nesta área. Para o K e Na trocáveis, observou-se que menores perdas ocorreram na parte mais elevada, situada na direção oeste em declividades que variam de 8 a 15%. Estas perdas foram intensificadas

em uma pequena área onde as declividades variam de 15 a 25%, porém este comportamento não acontece na região em que os declives são de 25 a 35%. A redução das perdas de nutrientes em condições de relevo, mais favorável a ação dos agentes erosivos, confirmam a eficiência deste sistema no controle da erosão hídrica.

Apesar do padrão uniforme, a área TR₁ apresentou na direção oeste aumentos de P disponível enquanto que na porção leste, em condições semelhantes de relevo, ocorreram perdas que variam de 2 a 6 Mg ha⁻¹. O K e o Na trocáveis apresentaram a mesma tendência, onde na direção sul ocorreram manchas intensas que caracterizam incrementos destes nutrientes e na parte norte perdas foram observadas.

Na área TR₂, foi possível observar a tendência do P disponível estar sendo acumulado na região central de relevo côncavo situado nas regiões de baixadas, em contrapartida, nos pontos mais altos onde o relevo é convexo e nas extremidades leste e oeste cujo relevo é do tipo côncavo, foram observados perdas deste nutriente. Quanto ao K trocável verificaram-se perdas principalmente nas direções norte, onde são encontradas as maiores altitudes, e a oeste, em relevos do tipo côncavo enquanto que apenas uma pequena mancha indicou aumentos deste nutriente. Já para o Na trocável, verificou-se que na extremidade da direção oeste existem incrementos variando de 10 a 20 Mg ha⁻¹ enquanto que nas partes mais baixas as perdas de Na foram intensificadas.

No sistema de CIP, manchas foram encontradas na direção leste indicando aumentos de P disponível. Porém, na região mais alta localizada na parte central foram observadas manchas claras em maior intensidade, permitindo inferir que o P perdido nas partes altas está sendo acumulado nas regiões de baixadas situadas na direção sul. A distribuição dos dados de Na trocável também indicou perdas mais intensas nas partes mais elevadas da área que tende a ser depositado principalmente na direção norte. Já o K trocável, destacou-se por apresentar uma distribuição bastante uniforme com faixa bem definida que tendem a intensificar as perdas no sentido leste-oeste.

Diante destes resultados, o sistema de CIP foi o que promoveu uma maior alteração no padrão espacial de perdas e aumentos de nutrientes, pois os efeitos da erosão associados às práticas agrícolas estão intensificando o aspecto uniforme desta área. Por outro lado, o aporte de matéria orgânica e a cobertura do solo proporcionada pelos AGP e SILV favorecem a manutenção dos nutrientes estudados de forma aleatória e em condições de relevo adverso, demonstrando que estes sistemas podem ser utilizados tanto na recuperação de áreas degradadas como na conservação desse solo.

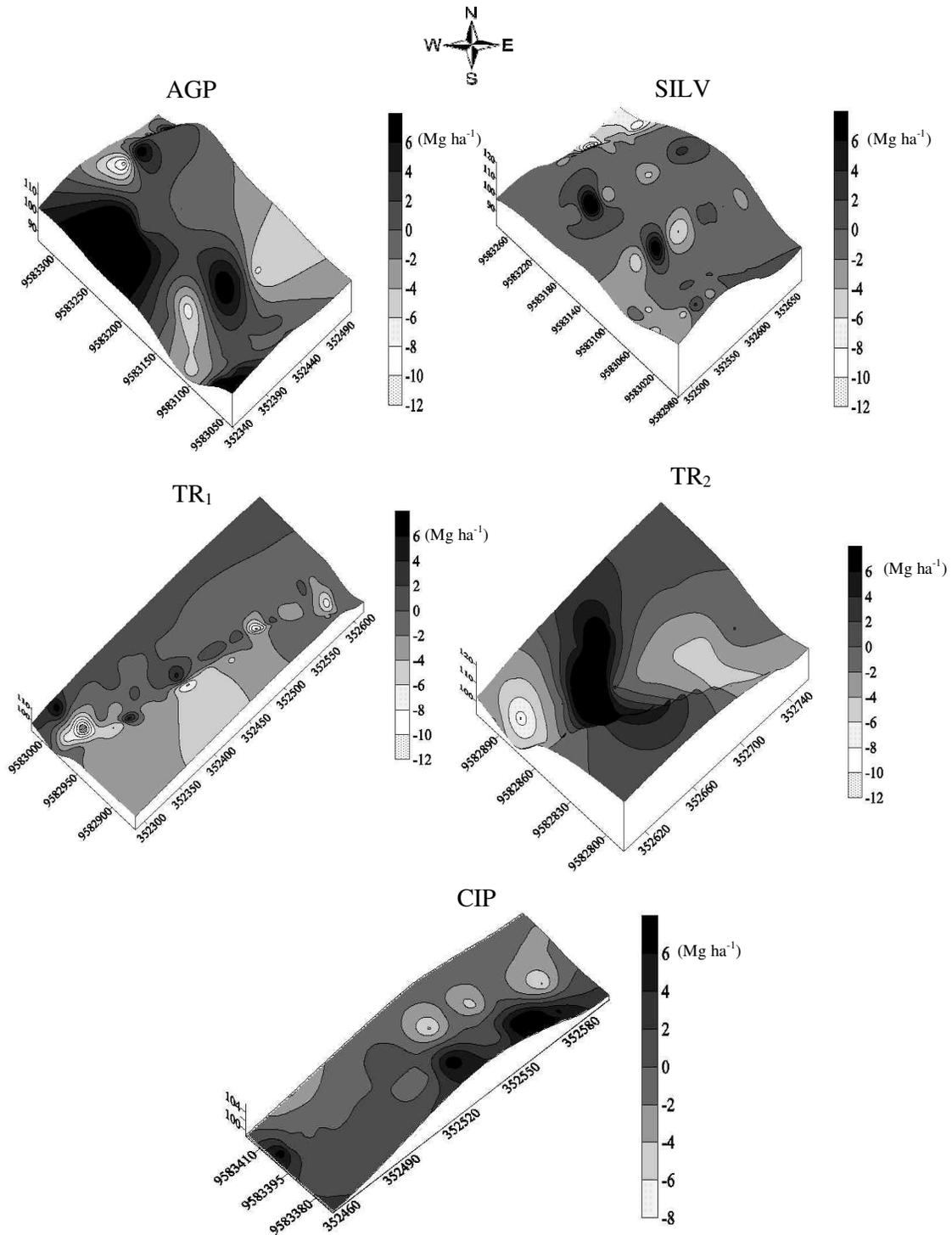


Figura 313. Distribuição espacial da massa de P disponível no período de 1997 a 2008 em Luvisolos, sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

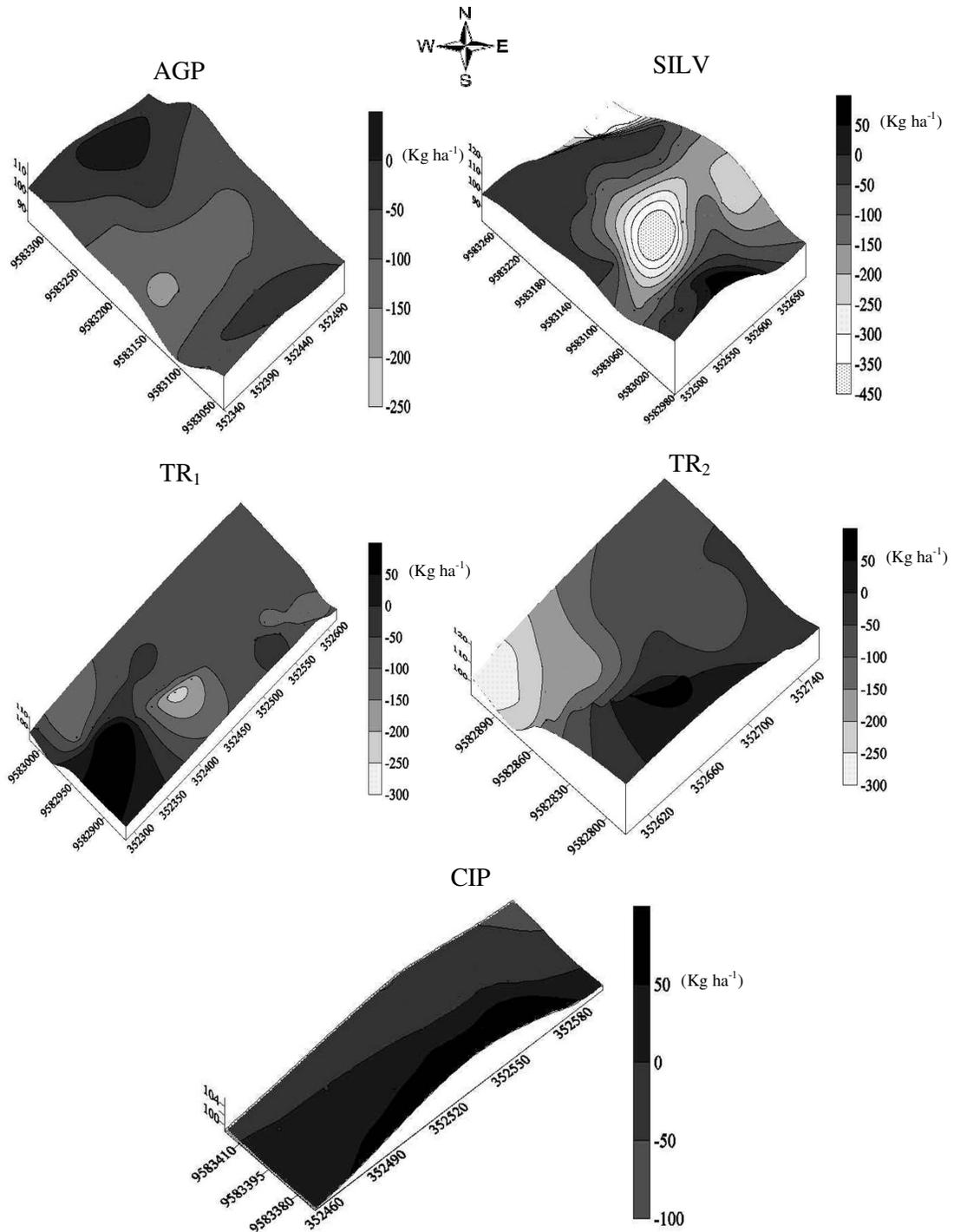


Figura 324. Mapas de distribuição espacial da massa de Na trocável no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

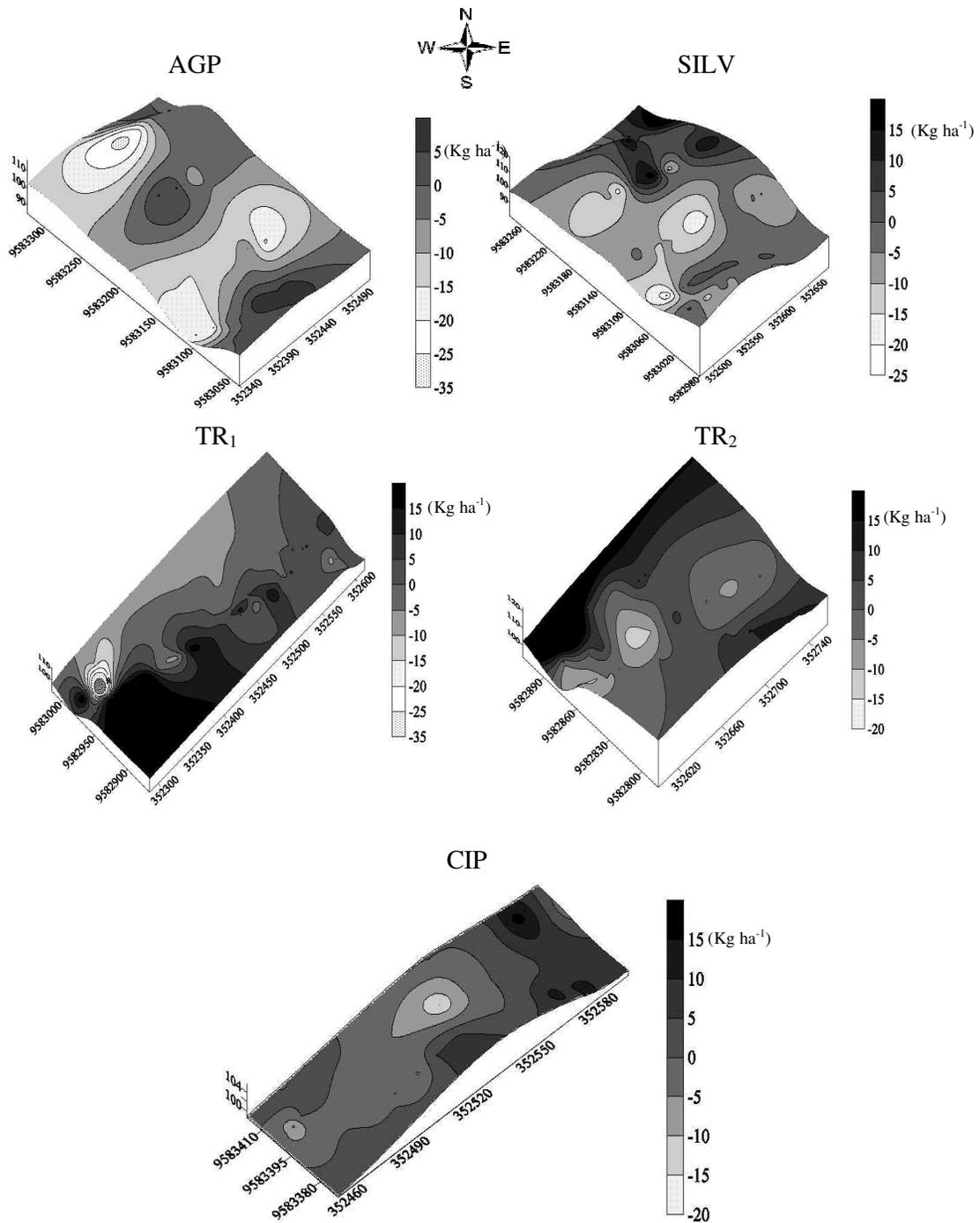


Figura 335. Distribuição espacial da massa de K trocável no período de 1997 a 2008 sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

4.9. Variação da massa de solo nos diferentes sistemas de manejo estudados

4.9.1. Estatística descritiva

Em geral, os valores de massa de solos obtidos no período de 1997 a 2008 em relação à condição natural confirmam os efeitos intensivos da erosão hídrica nos sistemas de cultivo convencional. As perdas obtidas nos tratamentos CIP, TR₁ e TR₂ foram de 120, 239 e 303 Mg ha⁻¹ representando um percentual de 63, 69 e 86% enquanto que o AGP e SILV proporcionaram perdas de solo em torno 62 e 118 Mg ha⁻¹ (31 e 52%), respectivamente (Tabela 28).

Apesar de estar localizada em uma região em que as condições de relevo são bastante favoráveis a ação dos agentes erosivos, a área SILV foi eficiente em reduzir as perdas de solo em relação aos sistemas tradicionais. Comportamento semelhante, porém mais conservador foi observado na área AGP o que pode ser justificado pelas práticas de manejo, tais como a presença de árvores, a incorporação do material vegetal, o cultivo em aléias, dentre outras.

Tabela 228. Variação dos dados de massa de solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo

Medidas	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
	Solo – (Mg ha ⁻¹)				
Reduções	61,66	118,61	239,23	303,35	120,34
Aumentos	139,82	110,46	108,45	-	69,82
Observações	41	67	74	28	41

em pousio.

As menores perdas de solo proporcionadas pelo CIP em relação aos sistemas tradicionais podem ser justificadas pelo período de pousio mantido desde 2002 na área CIP o qual favorece o crescimento de gramíneas representando uma eficiente cobertura do solo capaz de proporcionar redução das perdas provocadas pela erosão. Assim estes resultados não retratam realmente as perdas promovidas por este sistema, mas um reflexo do manejo adotado nesta área. Em contrapartida, o TR₂ foi o único sistema no qual apenas perdas de solo foram observadas, além disso, estas foram as mais elevadas quando comparadas aos demais sistemas estudados demonstrando, o nível de

degradação em que esta área se encontra e a necessidade de práticas conservacionistas de manejo nesta área.

Diante destes resultados, os SAF's avaliados neste trabalho mostraram-se eficientes no controle da erosão hídrica concordando com os estudos desenvolvidos por Aguiar et al. (2006) e Franco et al. (2002).

O coeficiente de variação para os valores de massa de solo foi em média de 32% (Tabela 30), sendo classificados como de variabilidade média segundo Warrick & Nielsen (1980). É importante destacar que esta variável apresentou uma elevada variabilidade espacial que poderia comprometer a interpolação dos dados, por isso optou-se por eliminar algumas amostras do conjunto de dados a partir do valor normalizado.

O coeficiente positivo de assimetria e negativo de curtose foi predominante nos dados de massa de solo, porém a aproximação destes coeficientes de zero e a os valores de média e mediana serem próximos indicam a tendência dos dados apresentarem distribuição normal. A normalidade foi confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) que foi significativo a 5% para a maior parte dos sistemas estudados.

Tabela 29. Estatística descritiva dos valores de massa do solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Medidas	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
	Solo – (Mg ha ⁻¹)				
Média	201,48	237,07	347,69	303,35	190,16
Mediana	193,49	226,83	328,67	304,52	187,46
Mínimo	31,06	91,73	63,26	54,63	74,75
Máximo	348,06	368,38	434,37	454,70	369,39
CV ⁽¹⁾	43,21	38,33	20,35	23,13	33,95
Desvio Padrão	87,07	90,89	70,75	90,99	64,57
Assimetria	0,31	0,08	0,69	-0,08	0,59
Curtose	-0,32	-1,16	-0,93	-0,73	-0,74
KS ⁽²⁾	0,11*	0,10*	0,18	0,16*	0,14*
Observações	34	65	67	26	35

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio.

4.9.2. Parâmetros dos semivariogramas

Os modelos esféricos e gaussianos foram os que proporcionaram um melhor IQA para os dados de massa de solo (Tabela 30).

A relação entre o efeito pepita e patamar indicou uma forte dependência espacial para os dados de massa de solo em todos os tratamentos, porém a maior relação (22 e 18%) foi observada nas áreas TR₁ e CIP indicando que a influência das práticas agrícolas estão sendo mais intensa nestas áreas do que nas mantidas sob manejo agroflorestal.

Os dados de massa de solo apresentaram alcances variando de 46 a 112 m. Nos sistemas de CIP, TR₁ e TR₂ observaram-se alcances de 50, 54 e 112 m enquanto que nas áreas AGP e SILV estes foram de 46 e 52 m, respectivamente. Estes resultados confirmam os efeitos das práticas agrícolas convencionais no aumento do padrão uniforme área.

Tabela 30. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os dados de massa de solo em Luvisolos sob sistemas de manejo agroflorestal e convencional na Fazenda Crioula, Sobral-CE

Parâmetros	Tratamentos				
	AGP	SILV	TR ₁	TR ₂	CIP
	Solo – Mg ha ⁻¹				
Modelo	Esf	Esf	Gaus	Gaus	Exp
C ₀ ⁽¹⁾	82,34	94,78	72,65	85,67	89,14
C ₀ + C ₁ ⁽²⁾	472,65	570,94	327,60	551,32	490,19
Alcance	46,23	52,08	54,21	112,23	49,95
[C ₀ /(C ₀ + C ₁)] ⁽³⁾	17,42	16,60	22,18	15,54	18,18
IQA ⁽⁴⁾	0,12	0,12	0,02	0,03	0,00

AGP: agrissilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR₁: tradicional 1, TR₂: tradicional 1, CIP: cultivo intensivo em pousio VN₁: vegetação natural 1, VN₂: vegetação natural 2. ⁽¹⁾ Efeito pepita, ⁽²⁾ Patamar, ⁽³⁾ Relação efeito pepita/patamar, ⁽⁴⁾ Índice de qualidade do ajuste.

4.9.3. Avaliação da distribuição espacial através dos mapas de superfície

A massa de solo perdida ou acrescentada em relação à área de referência foi avaliada através dos mapas de isolinhas, para tanto estes dados foram agrupados em faixas onde valores negativos indicam a perda e positivo o incremento de solo (Figura 36).

O tratamento AGP destacou-se por apresentar aumentos de solo, independente das condições de relevo, superiores aos demais sistemas estudados, indicando que as práticas de manejo adotadas no AGP favorecem a manutenção da espessura do horizonte A. Entretanto, nas extremidades da região leste perdas de solo foram observadas apontando que esta região deve ser submetida a um período de pousio com o objetivo de reduzir estas perdas. Comportamento oposto foi observado no sistema SILV, onde perdas de aproximadamente 100 a 250 Mg ha⁻¹ de solo foram obtidas na região central cuja altitudes são mais elevadas, enquanto que nas porções noroeste e sudeste observaram-se incrementos de até 150 Mg ha⁻¹. Logo, apesar do SILV ser um sistema bastante conservador, o relevo está favorecendo a ação dos agentes erosivos indicando a necessidade da adoção de mais práticas de conservação do solo ou um período de pousio a fim de iniciar um processo de recuperação desta área.

A área TR₁ apresentou na direção sudeste, cujo relevo é do tipo plano com declividades de 0 a 8% faixas que caracterizam perdas de 150 a 400 Mg ha⁻¹, enquanto que na porção leste em condições de menor altitude e forma côncava aumentos de solo foram encontrados indicando que o solo perdido das partes mais altas está sendo depositado no fundo do vale. Estes resultados apontam que o TR₁, mesmo sob condições de relevo menos favoráveis a ação dos agentes erosivos quando comparado ao SILV tende a favorecer o aumento das perdas de solo. Já o TR₂ foi o único sistema estudado que apresentou uma uniformidade bastante acentuada com o predomínio de perdas variando de 200 a 400 Mg ha⁻¹. Estas perdas abrangeram mais da metade da área, independentemente do relevo encontrado confirmando a hipótese de que práticas agrícolas tradicionais, sobretudo no sistema TR₂, tendem a aumentar a erosão, intensificando as perdas de solo e o padrão uniforme da área.

A região norte do CIP apresentou um aspecto mais uniforme com perdas de 100 a 200 Mg ha⁻¹, do que a parte sul onde ocorreram incrementos de 50 a 250 Mg ha⁻¹. Na região mais alta, localizada na parte central, as perdas são observadas em maior intensidade enquanto que nas porções mais baixas, situadas na direção sudoeste, predominam os aumentos de solo apontando um transporte das partículas de solo das partes altas para as regiões de baixadas situadas na direção sul.

Diante destes resultados, o TR₂ está promovendo maiores alterações no padrão espacial provavelmente devido às intensas perdas de solo proporcionada por este sistema de manejo. Por isso, recomenda-se a adoção das práticas conservacionistas a fim de evitar a degradação mais intensiva desta área. Por outro lado, o sistema AGP foi

o único dentre os estudados que promoveu maiores aumentos de solo, sendo por isso o mais indicado no controle da erosão hídrica e na recuperação de áreas degradadas.

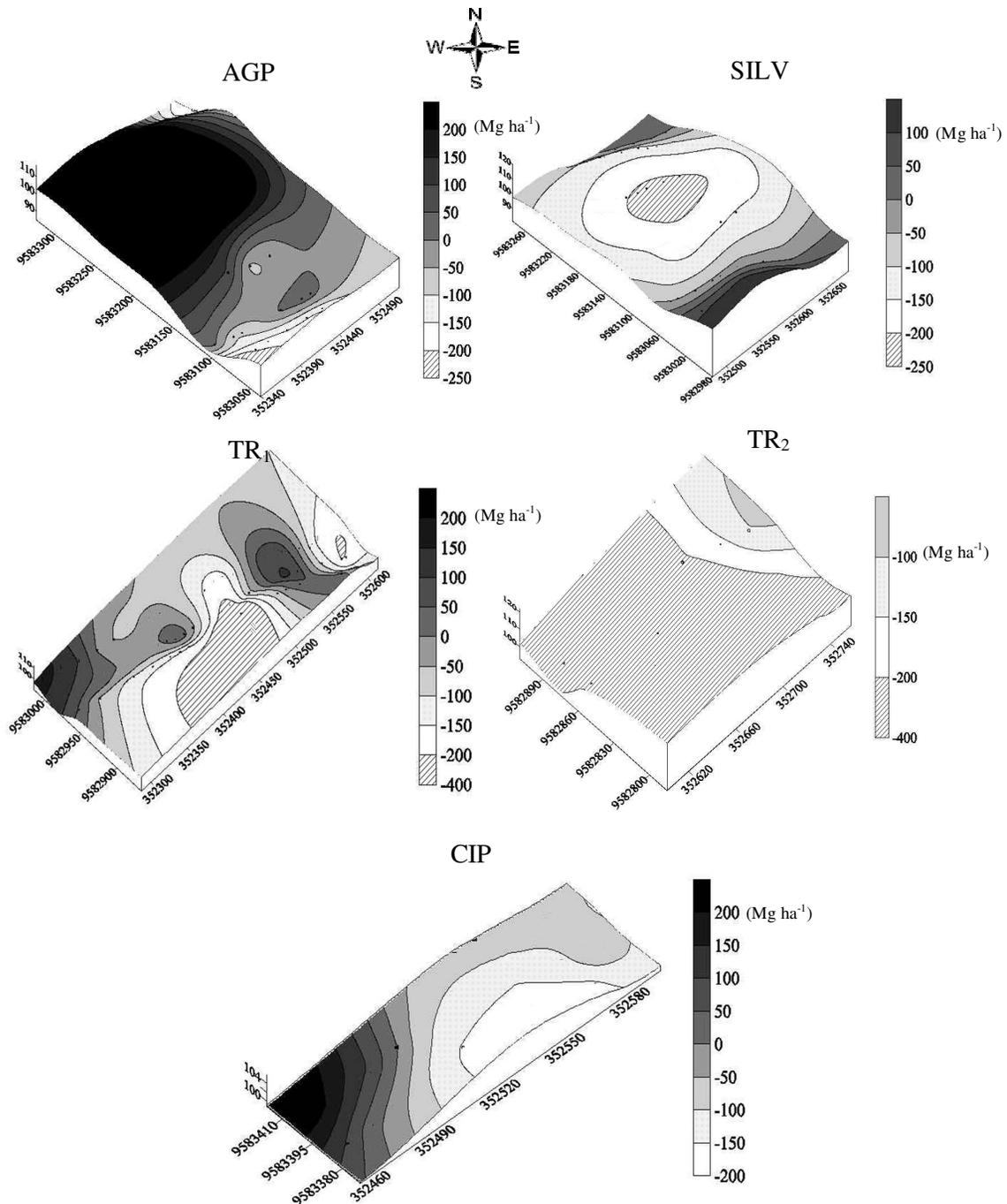


Figura 346. Distribuição espacial dos dados de massa de solo no período de 1997 a 2008 em Luvisolos sob sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

5. CONCLUSÕES

1. Os SAF's proporcionaram uma menor redistribuição, maior aporte e estoque de carbono e nutrientes no solo quando comparado aos sistemas convencionais e tradicionais confirmando a hipótese de que os SAF's podem ser uma alternativa para reduzir os efeitos da erosão no solo.
2. As formas de carbono orgânico solúvel em água (CSA) e particulada (COP) e os nutrientes K e Na trocáveis foram mais facilmente transportados pela ação dos agentes erosivos, podendo ser utilizados como indicadores de movimento de solo
3. Os resultados referentes à distribuição das frações granulométricas mostram que fração areia foi comumente alterada pela ação dos agentes erosivos nos sistemas conservadores, enquanto que nos sistemas mais intensivos a argila foi mais afetada devido à erosão estar promovendo maior desagregação e remoção da argila nestas áreas.
4. O sistema agrissilvipastoril (AGP) apresentou os maiores IMC quando comparado aos demais tratamentos estudados.

5. Os parâmetros dos variogramas indicaram que para uma avaliação precisa e representativa recomenda-se um espaçamento de 10 m para melhor descrever as propriedades químicas e físicas, sobretudo o comportamento das formas de carbono, nos sistemas de manejo estudados.
6. O uso dos mapas de distribuição espacial foi eficiente na avaliação dos sistemas de manejo, o que permite à visualização das regiões mais susceptíveis a ação dos agentes erosivos favorecendo a definição do comportamento dos sistemas de manejo agroflorestal e convencional com maior precisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M.I.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. *Rev. Ciênc. Agron.*, 37:270-278, 2006.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. & MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 5:124-130, 2001.
- ANDRADE, A.R.S., GUERRINI, I.A.; GARCIA, C.J.B., KATEZ, I. & GUERRA, H.O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. *Ciênc. Agrotec.*, 29:322-329, 2005.
- ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:179-186, 2004.
- ANSELIN, L. An introduction to variography using variowin. 1 ed. Urbana-Champaign, Spatial Analysis Laboratory Department of Agricultural and Consumer Economics University of Illinois, 2003, 17p.

- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V. & FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. R. *Árvore*, 27:715-721, 2003.
- ASSIS JÚNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M; COUTO, L. & MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. R. *Árvore*, 27:35-41, 2003.
- ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1541-1550, 2006.
- BARTLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1191-1192, 1988.
- BASIC, F.; KISIC, I.; NESTROY, O.; MESIC, M. & BUTORAC, A. Particle Size Distribution (Texture) of Eroded Soil Material. *J. Agron. Crop Sci.* 188:311-322, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; & SANGOI, L. Changes in Soil Organic Matter Fractions under Subtropical No-Till Cropping Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1473-1478, 2001.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. & ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil* 238: 133-140, 2002.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:485-494, 2004.

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 2 ed. São Paulo, Ícone, 1993, 355p.
- BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M. & WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 27:509-517, 2003.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. J. Agric. Res., 46:1459-1460, 1995.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, B.C. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo do solo e de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 188p. (Tese de Doutorado).
- CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R. & SIQUEIRA, D.S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. R. Ciênc. Agron., 38:149-157, 2007.
- CARVALHO, D.F.; MONTBELLER, C.A.; CRUZ, E.S.; LANA, A.M. Q. & SILVA, W.A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Eng. Agr., 11:1-4, 2003b.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesq. Agropec. Bras., 37:1151-1159, 2002.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 27:695-703, 2003a.

- CARVALHO, R., GOEDERT W.J. & ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:1153-1155, 2004.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1329-1339, 2007.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P. & WILLIAM, N. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *R. Bras. Eng. Agr. Amb.*, 5:254-258, 2001.
- CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 223p. (Tese de doutorado).
- CHANTIGNY, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*, 113:357-380, 2003.
- CHAVES, L.H.G. & FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de- açúcar. *R. Bras. Ci. Agrárias*, 3:20-25, 2008.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.
- CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1105-1112, 2003.

- DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R. & PASSOS, C.A.M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. R. *Árvore*, 23:367-370, 1999.
- DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 164p. (Tese de Doutorado).
- EGUCHI, E.D.; SILVA, E.L. & OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no município de Lavras, MG. R. *Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 6:242-246, 2002.
- EIZA, M.J.; FIORITI, N; STUDDERT, G.A. & ECHEVERRÍA, H.E. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ci. Suelo*, 23:59-67, 2005.
- EMBACHER, A.; ZSOLNAY, A.; GATTINGER, A. & MUNCH, J.C. The dynamics of water extractable organic matter (WEOM) in common arable topsoils: I. quantity, quality and function over a three year period. *Geoderma*, 139:11-22, 2007.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ESRI, 2005. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS 9.0. 2005. 3 CD-ROOM.
- FRANCO, F.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E. & MEIRA NETO, J.A.A. Quantificação da erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. R. *Árvore*, 26:751-760, 2002.

- FREITAS, P.L.; BLANCANEAUX, P.; GAVINELLI, E.; LARROY, M.C.L. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Aust. J. Soil Res.*, 32:285-309, 1994.
- GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:169-177, 2005.
- GREGORICH, E.G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D.W. & LIANG, B.C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Till. Res.*, 47: 291-302, 1998.
- GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C. & AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:277-286, 2005.
- HECKRATH, G.; DJURHUUS, J.; QUINE, T.A; VAN OOST, K.; GOVERS, G. & ZHANG, Y. Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. *J. Environ. Qual.*, 34:312-324, 2005.
- JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. *Agronomia*, 37:91-97, 2003.
- JÚNIOR, M. M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1177-1182, 2000.

- KALBITZ, K.; SOLINGER, S.; PARK, J.H.; MICHALZIK, B. & MATZNER, E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Sci.*, 165:277-304, 2000.
- KOSMAS, A.C.; GERONTIDISA, S.T.; MARATHIANOUA, M.; DETSISA, B.; ZACRIOUA, TH.; NAN MUYSENB, W.; GOVERSB, G.; QUINEC, T. & VANOOSTB, K. The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil & Till. Res.*, 58:31-44, 2001.
- LANDIM, P.M.B. Introdução à análise variográfica com o variowin. Laboratório de Geomatématica, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 25 p. 2004. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: Julho de 2008.
- LEÃO, A.B.; ANDRADE, A.R.S.; CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B. & GUERRA, H. O.C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. *R. Ci. Agron.*, 38:1-6, 2007.
- LEHMANN, J. et al. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrat agroforestry system. *Agrof. Systems*, 53:113-124, 2001.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A. & GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.
- LI, Y. & LINDSTROM, M.J. Evaluating Soil Quality–Soil Redistribution Relationship on Terraces and Steep Hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1500-1508, 2001.
- LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B. & QUARTEZANI, W.Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. *Eng. agric.*, 15:290-298, 2007.

- LIU, D.; ZANG, D.; ZHANG, B.; SONG, K.; LI, J.; LI, F. & DUAN, H. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. *Agric. Ecos. Environ.*, 113:73-81, 2006.
- MACHADO, L.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. & FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do Solo em áreas sob sistema plantio convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:591-599, 2007.
- MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Quim. Nova*, 28:329-334, 2005.
- MAIA, S.M. F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *R. Árvore*, 30:837-848, 2006.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Organic carbon pools in Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará – Brasil. *Agroforest. Syst.*, 71:127-138, 2007.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas Agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:381-392, 2008.
- MARDIKIS, M.G; KALIVAS, D. P. & KOLLIAS, V. J. Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration—An Application in Greece. *Wat. Res. Man.* (2005) 19: 251–278.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄. Raleigh: North Carolina Soil Test Division, 1953. 53p.
- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M & OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:925-933, 2003.

- MELLO, G.; BUENO, C.R.P. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 10:294-305, 2006.
- MELLO, J.M.; BATISTA, J.L.F.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. & OLIVEIRA, M.S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. Sci. For. , 69:25-37, 2005.
- MENDES, A.M.S.; FONTES, R.L.F. & OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino no Estado do Rio Grande do Norte. R. Ciênc. Agron., 39:19-27, 2008.
- MENDES, C.A.B. & CIRILO, J.A. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre, ABHR, 2001. 536p.
- MIRANDA, J.I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. . & SOUZA, Z. . Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Pesq. Agropec. Bras., 40:69-77, 2005.
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E; NIELSEN, G.A. & PETERSON, G.A. Soil attributes prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:443-452, 1993.
- NAIR, P.K.R. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, ICRAF. 1993, 499p.
- NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; MACEDO, R.L.G. & TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. R. Ci. Agrotec., 28:1038-1046, 2004.

- NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. (Dissertação de Mestrado).
- NOGUEIRA, R.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. *Rev. Ciênc. Agron.*, 39: 494-502, 2008b.
- NOGUEIRA, R.S.; OLIVEIRA, T.S.; TEXEIRA, A.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semi-árido cearense. *R. Ceres*, 55:327-337, 2008a.
- NÚÑEZ, J.E.V.; SOBRINHO, N.M.B.A. & MAZUR, N. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. *Bragantia*, 62:101-109, 2003.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.C.; SILVA, C.A.; CURTI, N.; LIMA, J.M. & RANGEL, O.J.P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos Vermelhos sob influência de calcário e fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1261-1271, 2008.
- OLIVEIRA, A.S. Qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Alta Floresta-MT. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 73p. (Tese de Mestrado).
- OLIVEIRA, S.P. Compartimentos de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, Limoeiro do Norte-CE. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2008. 64p. (Monografia).
- OURIQUES, M.; FEISTAUER, D.; VILCAHUAMÁN, L.J.M.; VIEIRA, A.R.R. & SOARES, A. Seqüestro de carbono de um sistema agroflorestal com bracatinga (*Mimosa scabrella Benth*) na região metropolitana de Curitiba-PR. In: VILCAHUAMÁN, L. J. M.; RIBASKI, J. & MACHADO, A. M. B. (eds) *Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas*. Colombo, Embrapa Floresta, 2006. p.107-119.

- PENEIREIRO, F.M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural; um estudo ao acaso. Piracicaba, Esalq, 1999. 100p. (Dissertação de Mestrado).
- PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F. & SILVA, D.D. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 7:423-429, 2003.
- POMIANOSKI, D.J.W. Perdas de solo e água em sistemas agroflorestais da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em diferentes declividades e manejos. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 91p. (Dissertação de mestrado).
- QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S. & FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J.F. (eds) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande, UFPB/SBEA, 1997. p.69-111.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; & GUIMARÃES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. R. Bras. Ci. Solo, 31:1341-1353, 2007.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.C. & GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. Ciênc. Agrotec., 32:429-437, 2008.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário, 11:27-37, 1985.
- RITCHIE, J.C.; MCCARTY, G.W.; VENTERIS, E.R. & KASPAR, T.C. Soil and soil organic carbon redistribution on the landscape. Geomorphology, 89:163-171, 2007.
- SANCHEZ, R. B.; MARQUES, J.J.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial das propriedades de um Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., v.9, n.4, p.489-495, 2005.

- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição de coleta de solo no campo. 5 ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, E.F.F. & LIMA NETO, J.A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. R. Bras. Ci. Agrárias, 2:143-149, 2007.
- SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. & ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Pesq. Agropec. Bras., 37:669-678, 2002.
- SCHAFFRATH, V.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo e de variáveis de plantas daninhas em sistemas de manejo de solo. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 2006. 107p. (Tese de Doutorado).
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JUNIOR, A.A. & BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 24:437-447, 2000.
- SCHUMACHER, T.E.; LINDSTROM, M.J.; SCHUMACHER, J.A. & LEMME, G. D. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion. Soil & Till. Res., 51: 331-339, 1999.
- SILVA, A.M.; SILVA, M.L. N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C. & FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. Pesq. Agropec. Bras., 40:1223-1230, 2005.
- SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; VIEIRA, L.H.S. & OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. Ciênc. Agrotec., 32:231-241, 2008.

- SILVA, G. L. Retenção de umidade em Luvissole no semi-árido cearense sob sistemas agroflorestais e convencional. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2006. 42p. (Monografia).
- SILVA, G.L. Qualidade física de um Luvissole cultivado com sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2008. 69p. (Tese de mestrado).
- SILVA, P.C.M. & CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. R. Bras. Eng. Agr. & Amb., 5:431-436, 2001.
- SILVA, P.P.V. Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. 98p. (Tese de mestrado).
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; SOUZA, G.S. & SILVA, M.A. Análise espacial da erosão hídrica em um Latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. Rev. Ciênc. Agron., 38:335-342, 2007.
- SILVA, V. R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Comparação entre os métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo. Ciên. Rural, 30:1065-1068, 2000.
- SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C. & CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Pesq. Agropec. Bras., 35:2057-2064, 2000.
- SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R. & CEDDIA, M.B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. Bragantia, 67:203-211, 2008.

- SIRTOLI, A.E.; SILVEIRA, C.T.; MANTOVANI, L.E.; SIRTOLI, A.R.A & OKAFIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Sci. Agrar.*, 9:317-329, 2008.
- SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V. & PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1067-1074, 2003.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. *Acta Sci. Agron.*, 28: 305-311, 2006.
- SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO; S.M.G.L.; SANTOS, T.E. M.; ANDRADE, T.S. & PEDROSA, E.R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semi-árido. *Ciê. Rural*, 38:698-704, 2008.
- SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1113-1122, 2003.
- SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T. & MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ci. Rural*, 34:1763-1771, 2004.
- SPAGNOLLO, E. Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 210p. (Tese de Doutorado).
- STÜRMER, S.L.K.; ROSSATO, O.B.; COPETTI, A.C.C. & RHEINHEIMER, D.S. Perdas e recuperação de carbono orgânico em Cambissolo sob diferentes usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, Rio Grande do Sul, 2007. Anais. Rio Grande do Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 1-4.

- THEOCHAROPOULOS, S.P.; FLOROU, H.; WALLING, D.E.; KALANTZAKOS, H.; CHRISTOU, M.; TOUNTAS, P. & NIKOLAOU, T. Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the Cs-137 technique. *Soil & Till. Res.*, 69:153-162, 2003.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38: 45-94, 1985.
- VALERIANO, M.M. & CARVALHO JÚNIOR, O.A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. *R. Bras. Geom.*, 4:17-29, 2003.
- VIEIRA, V.A.S.; MELLO, C.R. & LIMA, J.M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. *Ciênc. Agropec.* 31:1477-1485, 2007.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 319- 324p.
- WEIRICH NETO, P.H.; BUZOLINI, O.J.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. & SVERZUT, C. B. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. *Ci. Agr. Eng.*, 12: 41-49, 2006.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:487-494, 2005.
- WEZEL, A.; STEINMULLER, N. & FRIEDERICHSEN, J.R. Slope position effects on soil fertility and crop productivity and implications for soil conservation in upland northeast Vietnam. *Agri., Ecos. & Environ.*, 91:113–126, 2002.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M.. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*,19:1467-1476, 1988.

YOUNG, A. *Agroforestry for soil management*. 2.ed. Oxon, UK: Cab International, 1999. 320p.

ZHANG, J.H.; LIU, S.Z. & ZHONG, X.H. Distribution of soil organic carbon and phosphorus on an eroded hillslope of the rangeland in the northern Tibet Plateau, China. *Eur. J. Soil Sci.*, 57: 365-371, 2006.