

HERLON BRUNO FERREIRA BARRETO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO NO VALE DO APODI-RN

MOSSORÓ-RN

2012

HERLON BRUNO FERREIRA BARRETO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO NO VALE DO APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

MOSSORÓ-RN

2012

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

B273v Barreto, Herlon Bruno Ferreira.
Variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a
produção de arroz vermelho no Vale do Apodi-RN. / Herlon
Bruno Ferreira Barreto. -- Mossoró, 2012.
60 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Profº. D. Neyton de Oliveira Miranda.
Co-Orientador: Profº. D. José Francismar de Medeiros.

1. Oryza sativa. 2. Variabilidade espacial. 3. Manejo localizado do
solo. I. Título.

CDD: 633.18

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa
CRB15/453

HERLON BRUNO FERREIRA BARRETO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO QUE INFLUENCIAM A
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO NO VALE DO APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

APROVADA EM: ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda - UFERSA
Orientador

Prof. Dr. José Francismar de Medeiros - UFERSA
Conselheiro

Dr. Edimar Teixeira Diniz Filho – Prefeitura Municipal de Mossoró
Conselheiro

MOSSORÓ-RN

2012

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas pela oportunidade em realizar este curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto: Avaliação, introdução e difusão de cultivares de arroz de tipos especiais e tecnologia para produção no Vale do Apodi-RN.

Aos professores Neyton de Oliveira Miranda e José Francismar de Medeiros, pela orientação, confiança e amizade, durante esses anos de orientação.

Aos produtores de arroz vermelho e colegas que colaboraram para realização deste estudo.

RESUMO

BARRETO, Herlon Bruno Ferreira. **Variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produção de arroz vermelho no Vale do Apodi - RN**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

O arroz vermelho vem sendo cultivado há dezenas de anos no Vale do Apodi, onde gera renda e é o principal sustentáculo econômico para muitas famílias de pequenos agricultores. Entretanto, o arroz vermelho, é pouco conhecido e, portanto, pouco cultivado em outras regiões. O objetivo do presente trabalho foi o de determinar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos e químicos do solo que influenciam a produção do arroz vermelho irrigado na região do Vale do Apodi, e caracterizar a dependência espacial dos atributos do solo e da produção visando fornecer subsídios para um posterior planejamento da produção. O trabalho foi realizado no município de Apodi, RN, na região conhecida como várzea do rio Apodi, compreendendo a área de abrangência da Associação dos Produtores de Arroz do Vale do Apodi. O trabalho foi realizado em duas propriedades, nas quais foi delimitada uma área, subdividida em quinze subáreas, sendo cada caracterizada em suas características químicas e físico-hídricas do solo. As amostragens e coletas foram realizadas nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, segundo malhas de amostragem com espaçamento regular, o qual foi de 20x20 m na Área 1, na comunidade Santa Rosa, e 10x10 m na Área 2, na comunidade Reforma. Os pontos de amostragem foram referenciados segundo coordenadas cartesianas (x,y), permitindo assim o uso da geoestatística para estudar a variabilidade espacial das características. A determinação das características físico-hídricas do solo foi realizada a partir de amostras deformadas e indeformadas, as quais foram obtidas em anéis volumétricos de aço. As determinações físico-hídricas do solo foram análise textural, ponto de murcha permanente, capacidade de campo, densidade aparente, densidade de partículas e água disponível. As determinações químicas do solo foram os teores de matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} e Zn^{2+} . Os componentes de produção determinados foram número de panículas por área, massa de 100 grãos e produtividade. A estatística descritiva foi empregada para analisar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. O coeficiente de correlação de Spearman e a análise de regressão linear múltipla foram utilizados para identificar causas prováveis de variabilidade. As produtividades médias foram de 7.527 kg ha⁻¹ e 3.832 kg ha⁻¹, para área 1 e 2, respectivamente. As variáveis físico-hídricas do solo que se correlacionaram com os componentes de produção foram: água disponível, ponto de murcha, densidade aparente, argila e silte. As variáveis químicas do solo que se correlacionaram com os componentes de produção foram: cálcio, magnésio, fósforo, sódio, potássio, zinco, cobre, manganês, ferro e matéria orgânica.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., variabilidade espacial, manejo localizado do solo.

ABSTRACT

BARRETO, Herlon Bruno Ferreira. **Spatial variability of soil attributes influencing red rice production in Apodi Valley, RN, Brazil**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

Irrigated red rice has been cultivated for decades in Apodi Valley, Brazil, where it is a cash crop and main economic resource for many small farm families. However, in other regions of Brazil red rice is little known and little cultivated. This study had as objective to assess spatial variability of soil attributes that influence irrigated red rice production in Apodi Valley, and characterize spatial dependence of those attributes and also of rice yield. The work was carried out in two farms of the county of Apodi, RN, Brazil, in a lowland region where is established the Apodi Valley Association of Red Rice Growers. Each farm had a production area divided in fifteen subareas, from which were determined soil chemical and physical-hydric characteristics. Samples were taken at 0 - 15 and 15 - 30 cm depths, according to a grid with regular spacing of 20 x 20 m in Area 1 and 10 x 10 m in Area 2. Sampling spots were georeferenced according to Cartesian coordinates that allowed the use of geostatistics in the study of spatial variability. Physical-hydric determinations included soil texture, permanent wilting point, field capacity, soil density, particle density and available water content. Soil chemical determinations included organic matter content and contents of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} and Zn^{2+} . Rice yield components determined were panicle number per area, mass of hundred grains and yield. Descriptive statistics was used for analyzing data general behavior and to identify outliers. Spearman correlation and multiple linear regression analysis were used for identifying probable causes of variability. Mean yields obtained were 7527 kg ha⁻¹ and 3832 kg ha⁻¹, in areas 1 e 2, respectively. Soil physical-hydric variables correlated to production components were: available water content, permanent wilting point, soil density and contents of clay and silt. Soil chemical variables correlated to rice yield components were: calcium, magnesium, phosphorus, sodium, potassium, zinc, copper, manganese, iron and organic matter.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., spatial variability, site specific management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estatística descritiva dos componentes de produção das Áreas 1 e 2, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012.....	28
Tabela 2- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 1, de características físico-hídricas do solo, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012	29
Tabela 3- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 2, de características físico-hídricas do solo, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012	30
Tabela 4- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 1, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012	31
Tabela 5- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 2, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012	32
Tabela 6- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e o número de panículas por metro quadrado de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi - RN. 2012	34
Tabela 7- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e a massa de 100 grãos de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi. 2012	35
Tabela 8- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e a produtividade de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi. 2012	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Representação esquemática de um semivariograma (adaptado de CAMARGO, (1997)).	20
Figura 2– Malhas de amostragem para a Área 1(a) e Área 2(b), em estudo sobre a variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	24
Figura 3– Colheita do arroz em área de 0,25 m ² para determinar a variabilidade espacial de atributos do solo influenciando a produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	26
Figura 4– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1: (a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012.	38
Figura 5– Mapa de isozonas para a profundidade de 0 a 15 cm, na Área 1, das variáveis:(a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	39
Figura 6– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1: (a) Fósforo; (b) Sódio; (c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês e (f) Ferro, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012.	41
Figura 7– Mapas de isozonas na Área 1, na profundidade de 15 a 30 cm de: (a) Fósforo; (b) Sódio;(c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês e (f) Ferro, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	42
Figura 8– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1 de: (a) Silte; (b) Argila e (c) Água disponível; e na profundidade de 15 a 30 cm de: (d) Argila; (e) Ponto de murcha e (f) Água disponível, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	43
Figura 9– Mapas de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 1, das variáveis: (a) Argila; (b) Silte e (c) água disponível na; profundidade 15 a 30 cm de: (d) Argila; (e) Ponto de murcha e (f) Água disponível em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	44
Figura 10– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm na Área 2, de: (a) Ferro e (b) Zinco; e na profundidade de 15 a 30 cm, de: (c) Magnésio; (d) Manganês; (e) Matéria orgânica, em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	46
Figura 11– Mapas de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 2, das variáveis: (a) Ferro e (b) Zinco; na profundidade 15 a 30 cm de: (c) Magnésio; (d) Manganês e (e) Matéria orgânica em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	47
Figura 12– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade 0 a 15 cm da Área 2, de: (a) Argila na; profundidade 15 a 30 cm de: (b) Ponto de murcha e (c) Densidade aparente, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	48
Figura 13– Mapa de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 2, para a variável: (a) Argila; e na profundidade de 15 a 30 cm de: (b) Ponto de murcha e (c) Densidade aparente, em estudo sobre a variabilidade da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	49
Figura 14– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste de: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos na Área 1; (d) Massa de 100 grãos na Área 2; (e) Produtividade na Área 1 e (f)	

Produtividade na Área 2, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	50
Figura 15– Mapa de isozonas para as variáveis: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos da Área 1; (d) Massa de 100 grãos da Área 2;(e) Produtividade da Área 1 e (f) Produtividade da Área 2, em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO ARROZ.....	14
2.2	A CULTURA DO ARROZ VERMELHO.....	15
2.3	VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO.....	16
2.4	USO DA GEOESTATÍSTICA NOS ESTUDOS DE VARIABILIDADE	18
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO LOCAL	23
3.2	ANÁLISES FÍSICO- HÍDRICAS DO SOLO.....	24
3.3	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	25
3.4	COMPONENTES DE PRODUÇÃO	26
3.3	AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS E GEOESTATÍSTICAS	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DO ARROZ VERMELHO.....	28
4.2	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO.....	29
4.3	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO.....	31
4.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DO ARROZ VERMELHO	33
4.4.1	Número de panículas por metro quadrado	33
4.4.2	Massa de 100 grãos	35
4.4.3	Produtividade	36
4.5	SEMIVARIOGRAMAS E KRIGAGEM DOS ATRIBUTOS FÍSICO- HÍDRICOS E QUÍMICOS DO SOLO	38
4.5.1	Semivariogramas e mapas de isozonas para Área 1.....	38
4.5.2	Semivariogramas e mapas de isozonas para área 2.....	45
4.6	SEMIVARIOGRAMAS E MAPAS DE ISOZONAS DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO	49
5	CONCLUSÕES	53

1 INTRODUÇÃO

A principal atividade agrícola da região do Vale do Apodi é a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado com irrigação por inundação, em diferentes sistemas de plantio, consumindo grandes quantidades de água, adubos químicos e agrotóxicos. A atividade é desenvolvida em pequenas propriedades, com mão de obra tipicamente familiar, de forma tradicional, em áreas de várzeas inundáveis de tempos em tempos.

O solo predominante na região é o Neossolo Flúvico, mas em alguns locais ocorre Neossolo Quartzarênico, devido à influência do afloramento do arenito, onde esta região está situada. Isto facilita a possibilidade de se encontrar água no subsolo, onde os poços Amazonas são facilmente perfurados. Entretanto, na sua maioria, as águas obtidas são de má qualidade, com elevado teor de sais. Na paisagem local predomina a Caatinga hiperxerófila. Nas áreas de várzea, cultiva-se, além do arroz, fruteiras e hortaliças.

O arroz vermelho, o qual se destaca na região, vem sendo cultivado há dezenas de anos no Vale do Apodi, onde tem gerado renda e é o principal sustentáculo econômico para muitas famílias de pequenos agricultores. O cultivo se sustenta devido à qualidade dos solos, apropriados para a produção de arroz; à grande disponibilidade de água, tanto superficial, devida à perenização do rio Apodi-Mossoró pela barragem Santa Cruz, como subterrânea, obtida de poços amazonas e artesianos, ao longo da várzea; a mão de obra familiar disponível é tradicionalmente capacitada ao desenvolvimento da atividade; ao clima excelente, com alto fotoperíodo, baixa amplitude térmica, temperaturas máximas e mínimas médias ideais para a cultura, e à organização das comunidades em associações.

O arroz vermelho, porém, é pouco conhecido e, portanto, pouco cultivado em outras regiões. No Brasil, foi o primeiro tipo de arroz introduzido pelos colonizadores, sendo atualmente cultivado principalmente no semiárido nordestino e, em ordem de importância, nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará, Bahia e Alagoas (DINIZ FILHO, 2009).

O arroz vermelho cultivado no vale do rio Apodi, que dá origem ao chamado “arroz da terra”, é uma forma espontânea de *Oryza sativa* L, sendo considerado em outras regiões do país como sendo erva daninha nas lavouras de arroz branco (FLECK et al., 2004).

O cultivo encontra-se em expansão de área, porém a produção não vem acompanhando esta expansão, possivelmente devido a fatores de manejo inadequado

associados à falta de assistência técnica. Os principais problemas são a utilização excessiva e inadequada de adubos e defensivos químicos, além de problemas de solo, que se expressam em baixo perfilhamento de plantas, causando queda de produtividade.

Apesar da tradição da irrigação na cultura do arroz, o manejo da irrigação e a distribuição da água são realizados de forma inadequada, ineficiente, baseado unicamente na aplicação da água. Os sistemas de irrigação foram construídos sem a preocupação de colocação de instrumentos que possibilitem medições e controles da quantidade da água de irrigação.

A forma de cultivo, aplicado, pela maioria dos produtores no Vale do Apodi, não controla de forma correta a lâmina de irrigação aplicada, sendo uma irrigação intermitente e não controlada. Isto, aliado a não sistematização da área e à variabilidade espacial do solo, proporciona uma grande variação da produtividade ao longo da área.

Avanços tecnológicos na agricultura têm mostrado a importância de se determinar a variabilidade espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de aperfeiçoar o aproveitamento dos recursos naturais. O conhecimento da variabilidade espacial do solo favorece ao manejo específico em áreas mais homogêneas, tornando áreas mais produtivas e reduzindo gastos com fertilizantes, herbicidas e tratos culturais. Esta forma de manejo localizado é conhecida como “agricultura de precisão”.

Os resultados obtidos a partir da análise geoestatística são utilizados para confeccionar cartas e mapas, que auxiliam na representação espacial da distribuição dos dados adquiridos e registrados, sob a forma de um sistema de coordenadas. Diferentes informações podem ser registradas e representadas, como a produtividade da lavoura e os atributos do solo, produzindo diferentes mapas, fornecendo importantes ferramentas agronômicas para auxiliarem na tomada de decisão.

O objetivo do presente trabalho foi o de determinar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos e químicos do solo que influenciam a produção do arroz vermelho irrigado na região do Vale do Apodi e caracterizar a dependência espacial dos atributos do solo e da produção, visando fornecer subsídios para um posterior planejamento da produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO ARROZ

O arroz é o cereal mais cultivado e consumido pelo homem em todos os continentes (ALONSO et al., 2005). Porém, no Brasil, onde predomina a produção do arroz branco, o arroz-vermelho é o tipo de arroz especial que apresenta maior importância (PEREIRA; RAMOS, 2004). A denominação “arroz-vermelho” deve-se à coloração avermelhada do pericarpo dos grãos, devido à presença e acúmulo de antocianina (PANTONE; BAKER, 1991) ou de tanino (AGOSTINETO et al., 2001). O arroz colorido tem suas variedades valorizadas por apresentarem propriedades benéficas à saúde, porque o arroz colorido tem um maior teor de nutrientes que o arroz branco sem casca, ou até mesmo polido (FAO, 2005).

O arroz vermelho foi introduzido no Brasil pelos portugueses no século XVI, entrando pelo atual Estado da Bahia, porém ali não obteve grande aceitação, ao contrário do Estado do Maranhão nos dois séculos seguintes. Em 1772, por determinação da Coroa de Portugal, que só tinha interesse na produção do arroz branco para suprir a metrópole, os agricultores foram proibidos de plantar o arroz vermelho no Maranhão. Por isto, a produção migrou para a região Semiárida, onde ainda é encontrado, principalmente nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (PEREIRA, 2002, 2004).

Existem duas formas distintas de arroz: a silvestre e a cultivada, esta última tendo se originado da primeira. Dentro destas duas formas temos duas distintas origens para o arroz, e a tendência moderna é a de classificá-los em arroz asiático e arroz africano. A forma cultivada do arroz asiático (*Oryza sativa* L.) teve sua origem na região Sudoeste do Himalaia. As cultivares que conhecemos, tanto irrigadas como de sequeiro, pertencem a este grupo, ao qual pertencem cultivares de pericarpo branco e vermelho. A outra forma cultivada, o arroz africano (*Oryza glaberrima*), teve sua origem ao longo do rio Níger, porém atualmente seu cultivo é reduzido, sem muita relevância, e a tendência é que seja completamente substituído pelo arroz asiático, cujas cultivares são melhoradas e de maior produtividade (RUSSO, 2007).

O arroz pertence à Divisão/Magnoliopsida, Classe/Liliopsida, Ordem/Poales, Família/Poaceae, Gênero/*Oryza* (CRONQUIST, 1988). O gênero *Oryza* é o mais rico e importante da tribo Oryzeae e engloba ao redor de 23 espécies, dispersas

espontaneamente nas regiões tropicais da Ásia, África e Américas. A espécie *Oryza sativa* é considerada polifilética, resultante do cruzamento de formas espontâneas variadas.

A temperatura ideal para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 25 °C e 30 °C (YOSHIDA, 1981). A água é muito importante para o arroz irrigado por inundação na garantia de obtenção de altos rendimentos de grãos. Tem como vantagens o aumento na disponibilidade de nutrientes, o auxílio no controle de plantas daninhas e o efeito termoregulador propiciado pela lâmina de água. A quantificação do volume de água utilizado durante o ciclo da cultura de arroz irrigado feita por Marcolin e Macedo (2001) nos sistemas de cultivo convencional, plantio direto e pré-germinado, mostra que os sistemas de cultivo não interferiram no volume de água utilizado pelas plantas, apesar das diferenças de manejo de água para o seu estabelecimento. O volume médio de cinco safras consecutivas alcançou valores em torno de 8.000 m³ ha⁻¹ em anos, havendo períodos de excesso e de deficiência de chuvas. Machado (2003) quantificou volumes entre 5.400 e 6.500 m³ ha⁻¹ em duas safras consecutivas, sem contabilizar a água proveniente de chuvas e concluíram também que, os diferentes sistemas de cultivo não influenciaram no volume utilizado. Para as condições de solo, sistema de cultivo e de clima de Santa Catarina, o volume de água utilizado durante o ciclo da cultura de arroz varia de 5.700 a 7.900 m³ ha⁻¹ (EBERHARDT, 1994).

2.2 A CULTURA DO ARROZ VERMELHO

O arroz vermelho, ou “arroz da terra”, é uma forma espontânea de *Oryza sativa* L. que apresenta porte alto, folhas verde-claras, decumbentes e pilosas, colmos finos, alta capacidade de perfilhamento e sementes com pericarpo avermelhado, aristas longas, alta taxa de dormência e debulha natural (FONSECA et al., 2007). Apesar da preferência mundial dos consumidores pelo arroz branco, a cor característica do pericarpo do grão das espécies de arroz é a vermelha, tendo a cor branca se originado de uma mutação e se firmado como característica de grande interesse comercial e prioritária na maioria dos programas de melhoramento genético (PEREIRA et al., 2007).

O pigmento vermelho do pericarpo do arroz é uma característica dominante, controlada por genes já identificados, a qual era muito comum entre os ancestrais selvagens do arroz. É uma proantocianina importante na alimentação humana, responsável pela digestibilidade e pela ação antioxidante, benéfica para o sistema

cardiovascular, além de atuar como repelente contra patógenos e predadores. Apesar do interesse crescente dos consumidores, devido ao sabor, textura e valor medicinal, a presença do arroz vermelho como invasora é considerada o maior problema econômico em campos de produção comercial, afetando a produção e a qualidade do arroz branco (SWEENEY et al., 2006).

O arroz vermelho é um componente importante da dieta dos habitantes de diversos estados do sertão nordestino (PEREIRA, 2004), tendo grande importância econômica e social. O plantio é normalmente realizado por pequenos agricultores, utilizando sementes nativas ou variedades tradicionais selecionadas ao longo do tempo, caracterizadas pela variabilidade, adaptabilidade às condições de cultivo e ampla base genética.

O arroz é mais plantado com irrigação por inundação, mas também é plantado em várzeas úmidas, sem irrigação, sistematização do terreno ou drenagem, sendo dependente de chuvas (PEREIRA et al., 2007). O alto custo de produção irrigada e o risco de déficit hídrico nas terras altas têm levado alguns produtores a plantar arroz de sequeiro em áreas de várzeas. As vantagens da inundação contínua seriam melhores produtividades e qualidade industrial dos grãos. Além disso, a aplicação de lâmina constante influencia características químicas do solo, podendo aumentar o pH em solos ácidos (BELTRAME et al., 1991; SANTOS et al., 1999).

Em avaliação de variedades de arroz branco e vermelho, Pereira et al. (2009) observaram maior produtividade, maiores teores de amilase e menor tempo para cozimento de variedades de arroz branco, todavia o grão de arroz vermelho polido se sobressaiu em teores de ferro e zinco, indicando-o como alternativa excelente para nutrição em populações carentes, cujo produto básico da sua dieta é o arroz.

Segundo Durigon et al. (2005), apesar de poucos estudos terem demonstrado correlações consistentes e significativas entre a produtividade da cultura do arroz com atributos de fertilidade do solo, há necessidade de ampliar o conhecimento com novos trabalhos que também incluam parâmetros que apresentam variabilidade espacial e que também determinam variabilidade na produtividade do arroz.

2.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO

A variabilidade presente no solo é causada por variações no clima, topografia, material de origem, vegetação, processos geológicos e pedológicos complexos e práticas

de manejo do solo. Fatores estes que influenciam a variabilidade em diferentes escalas, além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo são fontes adicionais que a causam (CAHN et al., 1994; CAMBARDELLA et al., 1994; MALLARINO, 1996; KITAMURA et al., 2007).

A variabilidade espacial dos atributos do solo influencia de forma decisiva o manejo a ser adotado nas áreas cultivadas, por isto o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo é um importante passo para que seja efetuado o seu manejo adequado. A variabilidade de atributos do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (VIEIRA et al., 1981; VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985), sendo que esta variabilidade do solo se correlaciona com a variabilidade da cultura, que segue o mesmo comportamento (MILLER et al., 1988; BHATTI et al., 1991).

Segundo Oliveira (2003), trabalha-se com agricultura de precisão desde o início do século XX, porém, a prática se disseminou nos anos 1980. Em 1988, nos EUA, fez-se a primeira adubação em tempo real (STAFFORD, 2000). Na agricultura de precisão o manejo é realizado de acordo com a variabilidade no campo, exigindo técnicas eficientes para estimar e mapear a variabilidade espacial e, ou, temporal das características e propriedades dos solos. Para isto, aplicam-se métodos estatísticos de interpolação para obter as características e propriedades dos solos nos locais não amostrados, visando diminuir o número de amostras necessárias para um bom mapeamento do campo (ANGÉLICO, 2006). A Krigagem é uma das ferramentas que permitem conhecer esta distribuição espacial, permitindo o manejo regionalizado do solo, atendendo às premissas da agricultura de precisão (COUTO; KLANT 1999; MOTOMIYA et al., 2006).

De acordo com Salviano (1996), poucos trabalhos têm sido conduzidos sobre as relações entre a variabilidade dos atributos do solo e a variabilidade da produtividade das culturas. De acordo com Mulla et al. (1990), a variabilidade dos atributos do solo influencia a eficiência do manejo e o desenvolvimento de uma cultura e causa rendimento desuniforme, mesmo em pequenas áreas.

Entre os trabalhos desenvolvidos com esse enfoque, está o de Guimarães e Moreira (2001), que avaliaram a cultura de arroz de terras altas e concluíram que o aumento da densidade do solo proporcionou um decréscimo no crescimento da parte aérea e na quantidade de raízes, além de observarem o engrossamento das raízes em função da compactação. Beutler et al. (2004) consideraram a determinação do intervalo

hídrico ótimo como um parâmetro importante no monitoramento da compactação do solo e na prevenção de perdas de produtividade do arroz de sequeiro.

Segundo Scherpinski (2005), em trabalho com soja, os atributos hídricos do solo correlacionam-se entre si, sendo a produtividade correlacionada positivamente com a macroporosidade e porosidade total do solo e negativamente com a densidade do solo. De acordo com Buckman e Brady (1976), ao examinar curvas características de umidade do solo, verifica-se que elas variam especificamente com a textura. Os solos de textura mais fina retêm maior porcentagem de água, ao longo de toda a faixa de energia. Isto se explica por possuírem maior porcentagem de matéria coloidal, maior espaço poroso e superfície absortiva muito maior. De acordo com Shetron (1972), certas propriedades físicas e químicas do solo, tais como retenção de água e capacidade de troca de cátions, estão muito associadas à superfície específica das partículas.

2.4 USO DA GEOESTATÍSTICA NOS ESTUDOS DE VARIABILIDADE

A dependência espacial da variabilidade de propriedades do solo é explicada por Vieira et al. (1981), de maneira que, dentro de um certo domínio, as diferenças entre os valores de uma propriedade do solo podem ser expressas em função da distância de separação entre as observações medidas. Como consequência da variação contínua dos solos, é válido afirmar que os atributos em locais mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (KUZYAKOVA et al., 2001). Nas análises convencionais, assume-se que as observações são independentes espacialmente, isto é, as variações de um lugar para outro são consideradas aleatórias.

A metodologia da geoestatística difere da proposta pela estatística clássica, basicamente na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, isto é, as variações são aleatórias no espaço, a geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas (SILVA, 1988).

As técnicas da geoestatística trabalham com problemas de espacialização de variáveis e representam uma promissora ferramenta para trabalhos em Sistema de Informação Geográfica em três aplicações básicas: (a) estimativas: para inferir atributos em pontos não amostrados; (b) previsões: para detectar tendências e locais de máximos

e mínimos; (c) delineamentos de experimentos: para aperfeiçoar a segmentação da área em unidades de espaço (VALERIANO; PRADO, 2001).

A geoestatística tem sido usada como ferramenta para estudar a variabilidade espacial de algumas características do solo, como também as correlações entre características. Neste sentido, Machado et al. (2006) mapearam e avaliaram a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo (CE), num Latossolo Vermelho distroférrico, sob plantio direto de grãos, e a relacionaram com os teores de argila em amostras georreferenciadas. Os coeficientes de determinação obtidos foram de 0,78 e 0,77 entre CE e teor de argila, nas camadas de 0–5 e 5–10 cm, respectivamente, e o mapa de isovalores da CE refletiu adequadamente a variação espacial do teor de argila.

Carvalho et al. (2002), trabalhando com Latossolo, e cultivando milho e feijão, no estado de Goiás, estudou mediante a geoestatística, a variabilidade espacial de pH, Ca, Mg, P e K, que revelaram forte e moderada dependência espacial em uma direção X. A mais forte dependência espacial foi verificada com relação ao pH, no sistema de preparo com arado, na profundidade de 5-20 cm,

Couto e Klamt (1999) estudaram a dependência espacial dos micronutrientes, boro, cobre, ferro, manganês e zinco solúveis em um Latossolo Vermelho-Escuro sob pivô central após 14 anos de uso intensivo, no sul do Estado de Mato Grosso. Com exceção do zinco, o uso intensivo propiciou um aumento significativo nas concentrações desses nutrientes na camada mais afetada pelo manejo (0-20 cm).

Antes da aplicação das ferramentas geoestatísticas, os dados devem ser analisados através dos procedimentos da estatística descritiva, para visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. Isto é fundamental para a tomada de decisões sobre os procedimentos a serem realizados (SALVIANO, 1996). O coeficiente (ρ) de Spearman mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais e usa, em vez do valor observado, apenas a ordem das observações, deste modo, este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de outliers, não exigindo, portanto que os dados provenham de populações normais, por isso este coeficiente é considerado uma alternativa de correlação não paramétrica, o coeficiente também é conhecido como coeficiente de correlação de postos de Spearman (PONTES; CORRENTE, 2005).

Quando a amostragem envolve duas direções (x,y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma (SILVA, 1988), o qual analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo, além de

definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de Krigagem (SALVIANO, 1996).

A semivariância é, por definição, dada por:

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

Sendo $N(h)$ o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma(h)$ é denominado semivariograma.

À medida que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta, pois é de se esperar que amostras tiradas a uma pequena distância entre si apresentem $Z(x)-Z(x+h)^2$ menores que aquelas tiradas a distâncias maiores (SILVA, 1988; CAMARGO, 1997). O ajuste do modelo matemático aos dados no gráfico, ou seja, a uma função, define os parâmetros do semivariograma (Figura 1), que são: efeito pepita (C_0), que é o valor de γ quando $h=0$; alcance (a) é a distância na qual o valor da semivariância se estabiliza, quando h aumenta até uma distância a , da dependência espacial; o valor de $\gamma(h)$ neste ponto é chamado de patamar ($C+C_0$), que é aproximadamente igual à variância dos dados, se ela existe, e é obtido pela soma do efeito pepita com a variância estrutural (C).

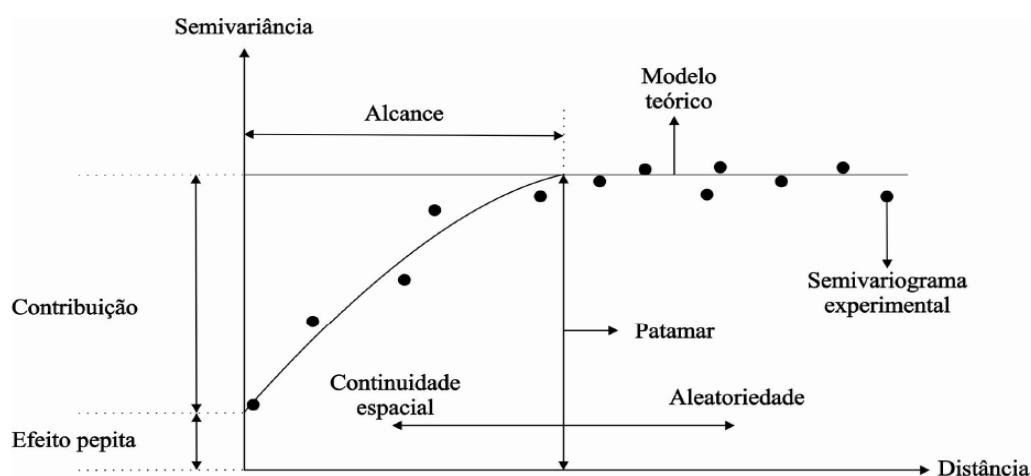


Figura 1– Representação esquemática de um semivariograma (adaptado de CAMARGO, (1997)).

Os modelos teóricos para ajustar os semivariogramas estão apresentados em Vieira, (2000), sendo os quatro principais representados pelas seguintes equações:

Modelo Linear:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \frac{h}{a} \therefore 0 \leq h \leq a \quad (2)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \therefore h > a \quad (3)$$

Em que, h é a distância entre pares de dados, C_0 é o efeito pepita, C_1 é a componente estrutural, C_0+C_1 é o patamar e a é o alcance.

Modelo Esférico:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \therefore 0 \leq h \leq a \quad (4)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \therefore h > a \quad (5)$$

Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-\frac{3h}{a})] \therefore 0 \leq h \leq d \quad (6)$$

Em que, d é a máxima distância em que o semivariograma é definido.

Modelo Gaussiano:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3(\frac{h}{a})^2)] \therefore 0 \leq h \leq d \quad (7)$$

Após o ajuste de um modelo matemático ao semivariograma, pode ser determinado o grau de dependência espacial (GD) (Equação 8), que representa a porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$). Conforme proposto por Cambardella et al. (1994), quando $GD < 25\%$ a dependência é considerada forte; de 25% a 75% a dependência é moderada e é fraca quando $GD > 75\%$.

$$GD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) * 100 \quad (8)$$

Após gerar o semivariograma, a interpolação dos dados pode ser feita por Krigagem, que é uma técnica de interpolação para estimativa de valores em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos amostrados na malha (ROQUE et al., 2006). A Krigagem é uma técnica usada na geoestatística com o objetivo de estimar valores de variáveis para locais onde as mesmas não foram medidas a partir de valores adjacentes interdependentes. Para que esta ferramenta seja usada é necessário que exista a dependência espacial definida pelo semivariograma (NUNES, 2008).

A Krigagem se diferencia de outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos, pois neste método não se utiliza a distância euclidiana entre os pontos, mas uma "distância estatística" que expressa tanto a distância como a estrutura de variabilidade (semivariância ou covariância). Assim, os vizinhos agrupados têm importância individual relativamente menor do que aqueles isolados (CAMARGO, 1997).

A estimativa de valores não amostrados interpolados por Krigagem pode ser obtida pela seguinte Equação:

$$X_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot X_i \quad (9)$$

Onde X_p : variável interpolada; λ_i : peso da i-ésima localidade vizinha; X_i : valor da variável para a i-ésima localidade; n: número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO LOCAL

O trabalho foi realizado em duas propriedades do município de Apodi-RN, na região conhecida como várzea do rio Apodi, compreendendo a área de abrangência da Associação dos Produtores de Arroz do Vale do Apodi. A Área 1, do proprietário Francisco Edilson ($5^{\circ} 43' 33''\text{S}$ e $37^{\circ} 45' 52''\text{W}$) se localiza na comunidade Santa Rosa; a Área 2, do proprietário João Batista ($5^{\circ} 40' 19''\text{S}$ e $37^{\circ} 44' 4''\text{W}$) se localiza na comunidade Reforma.

O clima predominante é do tipo BSw'h' de Köppen, caracterizado como clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa compreendida entre verão e outono e precipitação média anual ao redor de 700 mm. As temperaturas máximas médias ocorrem de novembro a dezembro ($28,3^{\circ}\text{C}$) e as mínimas ($23,5^{\circ}\text{C}$) ocorrem em agosto. A umidade relativa do ar média anual está ao redor de 68% (LIMA, 2007).

O solo é Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 1999), mas em alguns locais ocorrem Neossolo Quartzarênico, devido à influência do afloramento do arenito, onde esta região está situada. Isto facilita a possibilidade de encontrar água no subsolo, onde os poços amazonas são facilmente perfurados, pois após atravessar o Neossolo Flúvico encontra-se sedimentos do arenito com teor de areia bastante elevado o que favorece uma elevada vazão destes poços. Entretanto, na sua maioria, estas águas são de má qualidade com elevado teor de sais. A paisagem local predomina a Caatinga hiperxerófila. Nas áreas de Várzea, cultiva-se irrigado além do arroz, fruteiras e hortaliças. Como são áreas muito habitadas e pequenas, "minifúndios", há abundância em diversas espécies vegetais, espalhadas em diversos pomares domésticos e comerciais, bem como várias hortas (NUNES, 2008; DINIZ FILHO, 2009).

As áreas amostradas foram subdivididas em quinze subáreas demarcadas por piquetes numerados, das quais foram determinadas características químicas e físico-hídricas do solo. As amostragens e coletas foram realizadas nas profundidades de 0 a 15 e 15 a 30 cm, segundo malhas de amostragem com espaçamento regular, o qual foi de 20x20 m, na Área 1, e de 10x10 m na Área 2. As amostras foram referenciadas segundo coordenadas cartesianas (x,y), permitindo assim o uso da geoestatística para estudar a variabilidade espacial das características.

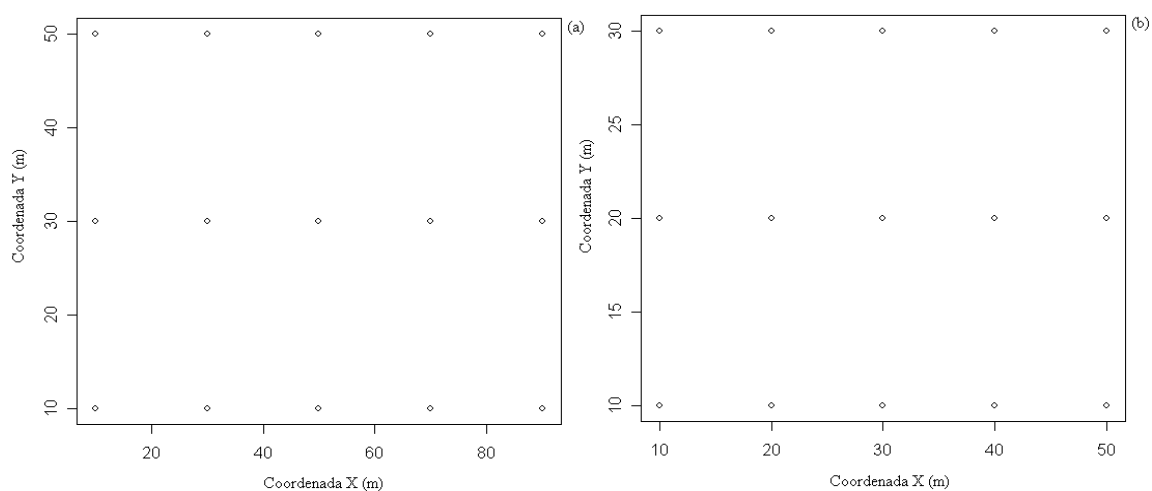


Figura 2– Malhas de amostragem para a Área 1(a) e Área 2(b), em estudo sobre a variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

As demarcações e coletas das amostras de solo, foram realizadas no dia 20/09/2011 para área do proprietário Francisco Edilson, no dia seguinte realizou-se o plantio a lanço, a adubação foi realizada aos 45 dias após plantio, com aplicação de fertilizantes químicos, a colheita foi realizada 136 dias após o plantio.

Na área do proprietário João Batista, a demarcação e coleta das amostras foi realizada no dia 21/10/2011, o plantio foi realizado 12 dias após a coleta do solo, juntamente ao plantio foi realizado a aplicação de um biofertilizante produzido na própria área, e uma nova aplicação do mesmo foi realizada 69 dias após o plantio. A colheita foi realizada 134 dias após o plantio.

A irrigação em ambas as áreas era realizada semanalmente, com o objetivo de manter uma lâmina de água constante sobre o solo, porém com maior dificuldade para o proprietário João Batista.

3.2 ANÁLISES FÍSICO- HÍDRICAS DO SOLO

A determinação das características físico-hídricas do solo em cada ponto amostral foi realizada após coleta do solo em anéis volumétricos e amostras deformadas. As amostras deformadas foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm (TFSA). As análises foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e Planta da UFERSA e no laboratório de Irrigação e Salinidade da mesma instituição. A metodologia empregada nas determinações está descrita em EMBRAPA (1997).

A análise de textura constou de: determinação do teor de argila, pelo método da pipeta, após a dispersão do solo por agitação mecânica e química com NaOH; a areia foi determinada por tamisação e o silte, por diferença.

O ponto de murcha permanente (PMP) foi determinado utilizando-se amostras de TFSA acomodadas em anéis de PVC de 1 cm de altura e postas a saturar em placa porosa, sendo posteriormente submetidas a tensão de 15 bar em câmara de pressão. Após atingir o equilíbrio de umidade, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h.

A capacidade de campo (CC) foi determinada usando as amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos de aço com volume de 50 cm³ aproximadamente. As amostras foram colocadas para saturar e submetidas à tensão de 6 kPa, que corresponde a microporosidade (EMBRAPA, 1997), em mesa de tensão de placa porosa de areia. Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas para determinação da sua massa úmida (m, kg) e foram secas em estufa por 48 h a 105 °C, para determinação da sua massa de sólidos (ms, kg).

A densidade aparente do solo foi determinada utilizando as mesmas amostras dos anéis volumétricos após secas. A densidade de partículas do solo foi determinada por meio do método do balão volumétrico.

Com os dados obtidos realizaram-se os cálculos da umidade volumétrica (θ , cm³cm⁻³), da densidade do solo (ρ , g cm⁻³) e da água disponível (AD), esta última obtida pela seguinte relação: $AD(mm) = (cc - pmp) \cdot Z$, em que ($cc - pmp$) é a capacidade de campo menos o ponto de murcha dado em cm³cm⁻³, multiplicado pela profundidade amostrada (Z) em milímetros.

3.3 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

As análises químicas do solo nas profundidades amostradas de 0-15 cm e 15-30 cm para as duas áreas em estudo foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e Planta da UFERSA seguindo recomendações da EMBRAPA (1997). Entre os macronutrientes determinados, os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺) foram extraídos com solução de KCl e determinados através de complexometria, enquanto que K⁺ e Na⁺ foram extraídos através de solução de HCl e H₂SO₄ e determinados por espectrofotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído pela solução Mehlich-1 e determinado por fotolorimetria, enquanto que os micronutrientes (Cu²⁺,

Mn^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+}) que também foram obtidos empregando o extrator Mehlich-1 foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de matéria orgânica (MO) presente no solo foi determinado após oxidação, utilizando-se solução de dicromato de potássio como agente oxidante (YEOMANS; BREMNER, 1988).

3.4 COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Em cada ponto de amostragem foram medidos os componentes de produção do arroz vermelho. Para isto, delimitou-se uma área de 0,5 m x 0,5 m onde foram cortadas todas as panículas e, após, foram determinados o número de panículas por área, a massa de 100 grãos e a produtividade. A umidade dos grãos foi corrigida para 13 %.



Figura 3— Colheita do arroz em área de 0,25 m² para determinar a variabilidade espacial de atributos do solo influenciando a produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

3.3 AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS E GEOESTATÍSTICAS

A estatística descritiva foi empregada para, através das medidas da média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação (CV), analisar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. O nível de variabilidade das características analisadas foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), em baixo para CV menor que 15 %, médio para CV entre 15 e 50 % e alto para CV acima de 50 % (WARRICK, 1998). A aderência dos dados à distribuição normal foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$).

O coeficiente de correlação de Spearman foi determinado entre as variáveis dependentes e as independentes, para isto considerou-se correlações até o nível de 10 % de probabilidade. As variáveis dependentes foram: o número de panículas, massa de 100 grãos e produtividade; as independentes foram as obtidas nas análises físico-hídricas e químicas do solo. Para identificar causas prováveis de variabilidade foi realizada a análise de regressão linear múltipla.

As análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas com o auxílio de programas computacionais livres como o software R, versão 2.3.1, GS+ versão Beta (1998) e planilha eletrônica.

Para as variáveis dependentes e para as independentes que apresentaram correlação, foram gerados semivariogramas para caracterizar a dependência espacial. O grau de dependência espacial foi classificado conforme a relação efeito pepita/patamar descrito por Cambardella et al., (1994). Também foram gerados mapas de isozonas obtidos através de interpolação por Krigagem, quando apresentaram dependência espacial, e interpolação pelo inverso do quadrado da distância, quando a dependência espacial não foi observada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DO ARROZ VERMELHO

A estatística descritiva dos componentes de produção das áreas de produção de arroz vermelho está exposta na Tabela 1, na qual estão apresentados os valores de produtividade (PROD), número de panículas (PAN) e massa de 100 grãos (P100). Analisando de forma geral os componentes de produção das duas áreas, observa-se que, para todas as variáveis, as médias da Área 1 apresentam-se superiores às encontradas na Área 2. Observa-se também que os coeficientes de variação das duas áreas não diferem quanto à classificação de média ou baixa.

O número de panículas é um dos componentes mais importantes na avaliação da produtividade na cultura do arroz, segundo Costa et al. (2000), que encontrou número médio de 136 panículas por 0,25 m² de arroz branco e em condições edafoclimáticas diferentes, porém servem como referência para discutir os resultados da Área 1 (Tabela 1), enquanto que na Área 2 os valores obtidos são inferiores. Os resultados obtidos para número de panículas são superiores aos encontrados por Nunes (2008), que trabalhou nas mesmas condições edafoclimáticas, da mesma forma que Diniz Filho (2009). O coeficiente de variação do número de panículas é classificado como médio (25,85 % e 19,29 %) para as Áreas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1- Estatística descritiva dos componentes de produção das Áreas 1 e 2, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV		Normalidade	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
PAN	105,27	85,8	27,21	16,55	66	67	156	116	25,8	19,3	Sim	Sim
P100 (g)	2,81	1,96	0,2	0,2	2,58	1,73	3,4	2,35	6,9	10,0	Não	Sim
PROD (kg ha ⁻¹)	7.527	3.832	1.786	1.081	4.905	2.184	10.986	5.251	23,7	28,2	Sim	Sim

Onde: PAN = número de panículas; P100 = massa de 100 grãos; PROD = produtividade; DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; A1 = Área de F. Edilson; A2 = Área de João Batista.

A massa de 100 grãos (P100) é outra componente de forte influência sobre a produtividade. Os valores considerados adequados para tal componente estão ao redor de 2,5 g, segundo Costa et al. (2000), sendo que na Área 1 a média encontrada (2,81 g) é superior, enquanto que na Área 2 é inferior (1,96 g). Valores próximos a estes foram obtidos por Nunes (2008) e por Diniz Filho (2009).

Os valores de produtividade diferem nas duas áreas, sendo maiores na Área 1 (7.527 kg ha⁻¹) do que na Área 2 (3.832 kg ha⁻¹). Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes (2008). A produtividade do arroz vermelho no Vale do Apodi – RN (3.550 kg ha⁻¹) está acima da média estadual (2.502 kg ha⁻¹) e abaixo da nacional que é de 3.868 kg ha⁻¹ (IBGE, 2005). Trabalhos de Fageria et al. (2007) e Costa et al. (2000) relatam produtividades médias de 4.559 kg ha⁻¹ e 4.517 kg ha⁻¹ trabalhando com irrigação e variedades de ciclo curto. As diferenças encontradas na produtividade das áreas estudadas podem ser atribuídas a diferentes características físico-hídricas e químicas do solo como também à influência do manejo adotado.

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

Entre as variáveis determinadas na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1, apenas o teor de areia não se ajusta à distribuição normal (Tabela 2), enquanto que, para a profundidade de 15 a 30 cm, todas as variáveis se ajustaram à distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). O coeficiente de variação apresentou-se baixo para as variáveis de capacidade de campo, ponto de murcha, água disponível, densidade de partículas e densidade aparente, mas para as variáveis de textura o coeficiente de variação é classificado como médio, de acordo com Warrick (1998).

Tabela 2- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 1, de características físico-hídricas do solo, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV		Normalidade	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Areia (%)	28,45	27,35	7,04	7,34	21,6	16,24	48,59	39,67	24,75	26,84	Não	Sim
Silte (%)	35,43	38,91	11,65	19,35	13,47	3,61	59,3	66,8	32,89	49,73	Sim	Sim
Argila (%)	36,12	33,74	7,03	15,6	19,1	12	47,68	57,24	19,45	46,24	Sim	Sim
CC (cm ³ cm ⁻³)	0,41	0,4	0,01	0,01	0,38	0,38	0,43	0,42	3,01	2,86	Sim	Sim
PMP (cm ³ cm ⁻³)	0,14	0,15	0,02	0,02	0,1	0,12	0,16	0,18	11,79	12,38	Sim	Sim
AD (mm)	41,08	38,81	2,35	2,43	38,25	33,99	46,2	42,61	5,71	6,26	Sim	Sim
Dp (g cm ⁻³)	2,59	2,58	0,03	0,03	2,54	2,52	2,64	2,64	1,17	1,25	Sim	Sim
Dg (g cm ⁻³)	1,52	1,51	0,05	0,04	1,41	1,46	1,6	1,59	3,04	2,57	Sim	Sim

Onde: CC (cm³ cm⁻³)= capacidade de campo; PMP (cm³ cm⁻³)= ponto de murcha; AD (mm)= água disponível; Dp (g cm⁻³) = densidade de partículas; Dg (g cm⁻³) é densidade aparente; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; P1 = profundidade de 0 a 15 cm; P2 = profundidade de 15 a 30 cm.

Os teores obtidos de areia, silte e argila (Tabela 2) são distintos dos encontrados por Diniz Filho (2009), que foram 68 %, 17 % e 16 %, respectivamente. Porém são corroborados por Nunes (2008), ambos trabalhando em solos da mesma região. A densidade aparente obtida tem valores próximos a 1,5 g cm⁻³, maiores do que os 1,08 g

cm^{-3} , obtidos por Diniz Filho (2009). Entretanto, os valores obtidos de densidade de partículas são semelhantes aos do autor. Quanto aos resultados de capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível, obtiveram-se valores superiores aos relatados pelo mesmo autor (21,22 mm de água disponível), tais diferenças podem ser atribuídas à grande variabilidade dos solos como também à metodologia utilizada.

Em relação aos teores de areia, silte e argila, não se verifica grandes diferenças entre profundidades em uma mesma área, porém a diferença aumenta quando se comparam as áreas. Os teores das frações do solo apresentados (Tabela 2) são semelhantes aos obtidos por Diniz Filho (2009), que se diferenciam dos encontrados por Nunes (2008), confirmando a existência de variação na textura dos solos da região.

Os coeficientes de variação de areia, silte e ponto de murcha da Área 2 (Tabela 3) são considerados médios, os CV de capacidade de campo, água disponível, densidade aparente e de partículas são baixos e o coeficiente de variação para fração argila, acima de 100 %, é classificado como alto (WARRICK, 1998). As variáveis que não se ajustaram à distribuição normal foram fração argila e a densidade aparente do solo.

Tabela 3- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 2, de características físico-hídricas do solo, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV		Normalidade	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Areia (%)	40,5	41,93	12,12	8,78	26	27,1	67,3	56,4	29,92	20,94	Sim	Sim
Silte (%)	53,56	52,47	13,24	12,17	31,4	27,5	73,6	72,4	24,72	23,2	Sim	Sim
Argila (%)	5,94	5,6	6,44	8,34	0,3	0,3	16,8	23,1	108,38	148,83	Não	Não
CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,41	0,41	0,04	0,05	0,32	0,3	0,47	0,51	9,47	12,98	Sim	Sim
PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,18	0,18	0,04	0,03	0,1	0,12	0,23	0,23	20,83	18,57	Sim	Sim
AD (mm)	35,04	35,11	3,89	6,12	25,44	22,71	40,54	43,7	11,1	17,44	Sim	Sim
Dp (g cm^{-3})	2,58	2,61	0,02	0,03	2,55	2,55	2,63	2,65	0,83	1,07	Sim	Sim
Dg (g cm^{-3})	1,57	1,64	0,1	0,07	1,33	1,52	1,66	1,79	6,12	4,49	Não	Sim

Onde: CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)= capacidade de campo; PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) ponto de murcha; AD (mm)= água disponível; Dp (g cm^{-3}) densidade de partículas; Dg (g cm^{-3})= densidade aparente; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; P1 = profundidade de 0 a 15 cm; P2 = profundidade de 15 a 30 cm.

Os valores de densidade aparente, maiores na Área 2 do que na Área 1 (Tabela 3), alcançaram valor máximo de $1,79 \text{ g cm}^{-3}$, indicando compactação do solo nesta camada, devido ao manejo inadequado do solo e pisoteio por animais na entre safra. Os maiores teores de areia implicam em menor armazenamento de água. As duas características são muito importantes, sobretudo quando se utiliza irrigação por inundação. Os teores de argila não se ajustaram à distribuição normal e obtiveram coeficiente de variação alto, maior do que 100 %. As densidades de partículas e aparente tiveram baixa variação, enquanto que as demais variáveis apresentaram CV

médio, de acordo com Warrick (1998).

4.3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

A estatística descritiva dos atributos químicos do solo da Área 1, nas profundidades estudadas (Tabela 4), permite observar que não se ajustam à distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) o potássio, na profundidade 0 a 15 cm, e Mg^{2+} , P, Na^+ , Cu^{2+} e Fe^{2+} , de 15 a 30 cm. Segundo a classificação de Warrick (1998), magnésio e zinco apresentam baixo coeficiente de variação, Fe^{2+} e Ca^{2+} apresentam alta variação e as demais apresentam média variação dos dados.

Tabela 4- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 1, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV		Normalidade	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	12,47	29,79	1,59	10,35	9,2	6,3	14,5	40,5	12,71	34,73	Sim	Não
Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	21,99	14,62	11,31	1,22	5	12,5	40	17	51,43	8,34	Sim	Sim
P (mg dm ⁻³)	29,43	32,1	6,95	7,27	18,13	21,65	38,71	39,24	23,62	22,66	Sim	Não
Na^+ (mg dm ⁻³)	165,58	236,21	68,86	160,12	57,41	71,57	305,09	600,27	41,59	67,79	Sim	Não
K^+ (mg dm ⁻³)	92,17	71,23	42,36	35,17	44,09	30,93	212,21	138,28	45,96	49,37	Não	Sim
Cu^{2+} (mg dm ⁻³)	3,45	2,66	0,57	1,06	2,8	1,81	4,6	5,93	16,47	39,85	Sim	Não
Mn^{2+} (mg dm ⁻³)	11,92	16,44	5,4	6,12	1,35	7,48	21,12	28,61	45,29	37,24	Sim	Sim
Fe^{2+} (mg dm ⁻³)	39,98	30,71	20,6	20,19	7,4	8,77	73,93	85,73	51,53	65,73	Sim	Não
Zn^{2+} (mg dm ⁻³)	8,68	8,47	0,94	0,79	6,71	6,86	9,93	10,02	10,84	9,33	Sim	Sim
MO (g kg ⁻¹)	10,48	9,08	4,48	3,31	2,76	2,86	17,73	14,78	42,75	36,42	Sim	Sim

Onde: DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; P1 profundidade de 0 a 15 cm; P2 profundidade de 15 a 30 cm. MO matéria orgânica.

Os valores de cálcio (Tabela 4), na profundidade de 0 a 15 cm (21,99 cmol_c dm⁻³), apresentam-se altos, assumindo-se Malavolta et al. (1997) consideram altos os teores de cálcio no solo acima de 4 cmol_c dm⁻³. Valores semelhantes foram obtidos por Nunes (2008) quando trabalhou com arroz vermelho em um dos solos amostrados neste trabalho. Enquanto que apenas o potássio não segue a distribuição normal na profundidade de 0 a 15 cm; na profundidade de 15 a 30 cm, as variáveis cálcio, potássio, manganês, zinco e matéria orgânica ajustam-se à distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). O coeficiente de variação é classificado como baixo para cálcio e zinco; médio para magnésio, fósforo, potássio, cobre, manganês e matéria orgânica; e alto somente para sódio e ferro, segundo classificação de Warrick (1998). Os valores de magnésio encontrados são classificados como altos segundo, Malavolta et al. (1997), sendo observados valores de até 29,79 cmol_c dm⁻³ na profundidade de 15 a 30 cm.

O fósforo apresentou valores médios de 29,43 e 32,1 mg dm⁻³ (Tabela 4), os quais são considerados altos conforme Malavolta et al. (1997), e encontram-se próximos aos encontrados por Diniz Filho (2009), em estudos na mesma região. Os valores altos de cálcio e de magnésio podem ser atribuídos aos altos teores de argila presentes no solo, o qual possui alto poder de adsorção desses nutrientes, além da presença na água de irrigação. Os valores de potássio na profundidade de 15 a 30 cm estão de acordo com os valores encontrados por Diniz Filho (2009) e são considerados altos conforme Lopes (1998). Em solos irrigados por inundação, ocorre o processo de redução, no qual a falta de oxigênio e a ação de microrganismos anaeróbicos resultam em uma série de modificações físicas, químicas e físico-químicas, destacando-se o aumento da disponibilidade de vários nutrientes essenciais, dentre eles o P, e perda de outros, principalmente de N, pelos vários processos envolvidos (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).

Os teores médios de sódio, no presente estudo, alcançaram 236,21 mg dm⁻³ na Área 1 (Tabela 4) e 551,15 mg dm⁻³ na Área 2 (Tabela 5), isto pode acontecer em solos com alto teor de argila e pela atividade da fração argila que apresenta uma estreita relação com a retenção de nutrientes e água (OLIVEIRA, 2008), e também ao cultivo sucessivo com adubações elevadas e má drenagem do solo, que não permite a lixiviação destes elementos. Os solos sódicos e solos salinos predominam na região semiárida nordestina, segundo Oliveira (2008), devendo-se tomar cuidados para evitar a salinização, especialmente com a cultura do arroz irrigado por inundação que requer mais água. Amaral, Gonçalves e Gardelino (1992) relatam que o sódio pode ocasionar decréscimo na produção do arroz, que pode chegar a 12% com o incremento de 56 ppm para 318 ppm de sódio no solo. Segundo Amaral e Gonçalves (1993), a partir de 400 ppm de Na no solo ocorre decréscimo na produtividade, podendo ocorrer perdas superiores a 50% da produtividade quando o teor de Na no solo chegar a 625 ppm.

Tabela 5- Estatística descritiva de valores medidos em duas profundidades da Área 2, de características químicas do solo em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi - RN, 2012

Variável	Média		DP		Mínimo		Máximo		CV		Normalidade	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,97	3,27	1,32	1,12	1,1	1,9	5,7	6,5	44,59	34,14	Sim	Não
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	14,88	15,83	2,53	2,24	9,2	12,1	19	19,7	17	14,14	Sim	Sim
P (mg dm ⁻³)	20,18	25,13	8,52	18,96	6,15	4,06	40,51	64,16	42,23	75,44	Sim	Sim
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	487,00	551,15	217,79	203,36	188,83	353,61	917,7	919,72	44,72	36,9	Sim	Não
K ⁺ (mg dm ⁻³)	100,43	67,67	38,9	35,09	35,99	29,91	178,79	153,47	38,74	51,85	Sim	Não
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	1,38	1,35	0,64	0,72	0,66	0,59	2,58	2,73	46,07	53,34	Não	Sim
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	126,96	102,65	44,96	93,35	46,29	32,25	206,79	387,59	35,41	90,95	Não	Não

Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	161,09	116,46	89,91	73,72	57,48	29,4	337,33	232,83	55,81	63,3	Sim	Sim
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	10,94	14,25	9,48	9,61	2,73	2,4	22,92	23,38	86,61	67,46	Não	Não
MO (g kg ⁻¹)	14,88	9,25	2,81	3,08	10,84	3,94	22,66	16,55	18,87	33,34	Sim	Sim

Onde: DP desvio padrão; CV coeficiente de variação; P1 profundidade de 0 a 15 cm; P2 profundidade de 15 a 30 cm. MO matéria orgânica.

Os teores de ferro e zinco na área 2 (Tabela 5) foram superiores aos da área 1, sendo na área 2 de 161,09 mg dm⁻³ e 10,94 mg dm⁻³, para ferro e zinco, respectivamente, na profundidade de 0 a 15 cm. Em solo alagado, a atividade microbiana provoca alterações no pH e reações de redução de nitrato, sulfato e óxidos de ferro e de manganês do solo (CAMARGO; TEDESCO, 2004), o que desencadeia as demais alterações químicas neste ambiente. Entre os elementos que não se ajustaram à distribuição normal, observa-se o cobre na profundidade de 0 a 15 cm, magnésio, sódio e potássio na profundidade de 15 a 30 cm e manganês nas duas profundidades.

Os teores de magnésio observados são classificados como médios segundo Malavolta et al. (1997), porém os valores máximos observados na Tabela 5 (5,7 e 6,5 cmol_c dm⁻³) são considerados altos. Os valores de matéria orgânica (MO) nas duas áreas estão ao redor de 1%, considerados baixos, condizentes com as características de solo e clima da região e aos cultivos sucessivos, porém ocorrem valores máximos de até 2,2% na camada de 0 a 15 cm da Área 2 (Tabela 5). Sabe-se que em solos ricos em matéria orgânica os teores podem alcançar 3%, dificilmente chegando a 5 %. Segundo Argenta et al. (2002), na maioria das recomendações de adubação nitrogenada das culturas, o teor de matéria orgânica do solo é um indicativo da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura. O N disponível no solo é praticamente todo proveniente da decomposição e mineralização da matéria orgânica e a sua baixa disponibilidade é decorrente de que 95% ou mais do N do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o ciclo da cultura (SCIVITTARO; MACHADO, 2004; CAMARGO et al., 1999).

4.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DO ARROZ VERMELHO

4.4.1 Número de panículas por metro quadrado

As correlações de atributos do solo com o número de panículas por metro quadrado (PAN) do arroz vermelho, nas duas áreas estudadas, estão expostas na Tabela 6. Em geral, o sistema de irrigação por inundação dificulta a obtenção de relações entre

características do solo antes do alagamento e o comportamento do arroz no solo alagado (VAHL; SOUSA, 2004). Isto se deve a processos específicos de cada situação, por isto, algumas vezes são encontradas baixas correlações entre métodos de determinação da quantidade disponível de um determinado nutriente e a resposta da cultura em produtividade (RANNO, 2004). Na Área 1, de 0 a 15 cm, apenas o zinco correlacionou-se com PAN ($p < 0,05$), de forma negativa, o que indica que a cultura pode ter sido prejudicada nos locais com maiores teores de zinco. Na profundidade de 15 a 30 cm, o maior valor de correlação foi para o ponto de murcha, o qual apresentou correlação positiva com o número de panículas ($p < 0,05$).

Tabela 6- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e o número de panículas por metro quadrado de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi - RN. 2012

Correlações de Número de Panículas					
Variáveis	Área 1		Variáveis	Área 2	
	0 a 15 cm	15 a 30 cm		0 a 15 cm	15 a 30 cm
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-0,54*	-	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	-	-0,58*
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	-0,49 ⁺	MO (g kg ⁻¹)	-	0,52*
AD (mm)	-	-0,44 ⁺	PMP(cm ³ cm ⁻³)	-	0,56*
PMP (cm ³ cm ⁻³)	-	0,58*	Dg (g cm ⁻³)	-	-0,57*
Parâmetros das regressões de Número de Panículas					
Variáveis	Área 1		Variáveis	Área 2	
	0 a 15 cm	15 a 30 cm		0 a 15 cm	15 a 30 cm
R ²	0,50 ⁺		R ²	0,50 ⁺	
Intercepto	27,35		Intercepto	165,3	
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-15,69	-	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	-	-3,00
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	-2,33	MO (g kg ⁻¹)	-	0,96
AD (mm)	-	1,68	PMP (cm ³ cm ⁻³)	-	161,67
PMP(cm ³ cm ⁻³)	-	1.063,65	Dg (g cm ⁻³)	-	-64,99

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ⁺ Significativo a 10% de probabilidade; PMP = ponto de murcha; AD = água disponível; MO = matéria orgânica.

Na área 2 não foram obtidas correlações significativas na profundidade de 0 a 15 cm. Entretanto, na profundidade de 15 a 30 cm, novamente o ponto de murcha apresentou correlação positiva, assim como a matéria orgânica ($p < 0,05$), tais resultados indicam que atributos físicos do solo influenciam o número de panículas positivamente, atributos estes que são beneficiados pela matéria orgânica do solo. Os valores de correlação negativa encontrados para a densidade aparente ($p < 0,05$), que alcançou níveis de até 1,79 g cm⁻³, ressaltam os prejuízos da compactação do solo. A correlação negativa obtida para o teor de magnésio ($p < 0,05$) pode ser devida à concentração elevada deste nutriente, apesar de Durigon (2007) ter encontrado correlações positivas de cálcio e magnésio com a produtividade do arroz irrigado, trabalhando com variedades de arroz branco em condições edafoclimáticas diferentes. Segundo Moraes e

Dynia (1992), estudando alterações decorrentes da inundação em um solo Glei-Húmico, o magnésio da solução do solo aumentou com a inundação, tendo sido deslocado pelo ferro e manganês.

Analisando-se as equações de regressão, o nível de significância de 10 % de probabilidade e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,50 podem ser devidos ao número de amostras e de variáveis envolvidas na estimativa das equações.

4.4.2 Massa de 100 grãos

Observando a Tabela 7 verifica-se que, na Área 1, profundidade de 0 a 15 cm, apenas variáveis físicas do solo se correlacionaram com a massa de 100 grãos, sendo que apenas água disponível foi significativa a 5% de probabilidade. O efeito negativo desta variável e da argila ($p < 0,10$) está relacionado à redução da disponibilidade de água pelo decréscimo do potencial hídrico do solo.

Tabela 7- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e a massa de 100 grãos de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi. 2012

Correlações de Massa de 100 grãos (g)					
Variáveis	Área 1		Variáveis	Área 2	
	0 a 15 cm	15 a 30 cm		0 a 15 cm	15 a 30 cm
P (mg dm ⁻³)	-	0,55*	Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	-0,51*	-
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	-	-0,47 ⁺	Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-0,45 ⁺	-
K ⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,73**	-	-	-
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,47 ⁺	-	-	-
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,59*	-	-	-
Argila (%)	-0,45 ⁺	-	-	-	-
Silte (%)	0,45 ⁺	-	-	-	-
AD (mm)	-0,50*	-	-	-	-
Parâmetros das regressões de Massa de 100 grãos (g)					
R ²	Área 1		R ²	Área 2	
	0,64 ^{NS}			0,30 ^{NS}	
Intercepto	3,99		Intercepto	2,08	
Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm	Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm
Argila (%)	-0,0098	-	Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,00014	-
Silte (%)	0,00065	-	Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-0,012	-
AD (mm)	-0,019	-	-	-	-
P(mg dm ⁻³)	-	-0,017	-	-	-
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	-	-0,00023	-	-	-
K ⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,0022	-	-	-
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,004	-	-	-
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,017	-	-	-

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ⁺ Significativo a 10% de probabilidade. AD = água disponível.

Na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1, apenas características químicas se correlacionaram com a massa de 100 grãos. Entre os nutrientes, somente o sódio

influenciou negativamente, indicando possível salinização do solo. Reduções na emissão de perfilhos e da área foliar fotossinteticamente ativa, assim como o aumento da esterilidade de espiguetas, são alguns dos danos relacionados à salinidade e que reduzem o rendimento do arroz (EHRLE, 1960). O elemento de maior correlação foi o potássio ($p < 0,01$), seguido do fósforo e do ferro ($p < 0,05$), todos com correlação positiva. A liberação de potássio não trocável do solo ocorre devido ao aumento da difusão e deslocamento de K^+ do complexo de troca por Fe^{2+} e Mn^{2+} , cujas concentrações aumentam na solução do solo devido ao alagamento e conseqüente redução do solo (PONNAMPERUMA, 1972; BARBER, 1995). Assim, o K^+ provém da estrutura de feldspatos e micas e do K retido entre camadas de alguns argilominerais expansivos, ou seja, as formas não trocáveis passam a atuar como fontes de K^+ às plantas (FRAGA, 2009). Na Área 2, as variáveis correlacionadas foram ferro ($p < 0,05$) e zinco ($p < 0,10$), ambas na camada de 0 a 15 cm e negativamente. Uma indicação da causa está na Tabela 5, onde estão expostos os teores de ferro e zinco bastante superiores aos da Área 1, valores muito baixos destes elementos vão causar deficiência, já valores elevados causam toxicidade.

As equações de regressão para a massa de 100 grãos não foram significativas e apenas apresentam as mesmas variáveis que tiveram correlação significativa com a massa de 100 grãos. O fato de que a equação da Área 1 apresentou coeficiente de determinação de 0,64, sem ser significativa, reforça a necessidade de maior número de amostras para serem obtidos resultados mais esclarecedores.

4.4.3 Produtividade

As correlações com produtividade, na Área 1, predominaram na camada de 0 a 15 cm (Tabela 8), destacando-se a correlação negativa de cálcio, que apresentava teor muito alto no solo (Tabela 5). Fósforo e matéria orgânica ($p < 0,05$) obtiveram correlação positiva, bem como a argila na profundidade de 15 a 30 cm. Nunes (2008) obtiveram correlações positivas de cálcio e da relação cálcio:magnésio, com as variáveis de produção do arroz vermelho em duas das áreas amostradas neste trabalho. Em contraste, apenas a variável argila apresentou correlação com a produtividade ($p < 0,01$), a qual foi negativa, na camada de 0 a 15 cm da Área 2. Este efeito pode estar associado à alta densidade do solo, a qual indica compactação, e apresenta correlação negativa ($p < 0,01$) na camada de 15 a 30 cm. Nesta mesma camada, o magnésio também apresenta

correlação negativa, explicada pelos altos teores no solo. As outras variáveis se correlacionaram de forma positiva, destacando-se matéria orgânica ($p < 0,05$) e ponto de murcha ($p < 0,01$), as quais ressaltam a influência das características físico-hídricas do solo sobre a produtividade do arroz vermelho.

Quando se analisa as equações de regressão obtidas, apenas a da Área 1 foi significativa ($p < 0,05$), apesar dos coeficientes de determinação serem semelhantes (0,62 e 0,64). Neste caso, as variáveis, matéria orgânica, ponto de murcha e densidade do solo se destacam como possíveis causas da variação da produtividade, todas relacionadas a aspectos físico hídricos do solo.

Tabela 8- Correlações de Spearman e parâmetros das regressões múltiplas entre atributos do solo e a produtividade de arroz vermelho em duas áreas de produção. Apodi. 2012

Correlações de Produtividade (kg ha ⁻¹)					
Área 1			Área 2		
Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm	Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	-0,44 ⁺	-	Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	-	-0,45 ⁺
P(mgdm ⁻³)	0,44 ⁺	-	Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	0,46 ⁺
MO (g kg ⁻¹)	0,50*	-	MO (g kg ⁻¹)	-	0,58*
Argila (%)	-	0,44 ⁺	Argila (%)	-0,64**	-
-	-	-	PMP (cm ³ cm ⁻³)	-	0,69**
-	-	-	Dg (g cm ⁻³)	-	-0,64**
Parâmetros das regressões de Produtividade (kg ha ⁻¹)					
Área 1			Área 2		
R ²	0,62*		R ²	0,64 ^{NS}	
Intercepto	8558,15		Intercepto	11483,44	
Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm	Variáveis	0 a 15 cm	15 a 30 cm
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	-441,19	-	Argila (%)	-39,324	-
P(mg dm ⁻³)	63,68	-	Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	-	94,843
MO (g kg ⁻¹)	172,31	-	Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	-	1,803
Argila (%)	-	23,40	MO (g kg ⁻¹)	-	-26,508
-	-	-	PMP (cm ³ cm ⁻³)	-	12419,91
-	-	-	Dg (gcm ⁻³)	-	-5986,66

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ⁺ Significativo a 10% de probabilidade; MO = matéria orgânica; PMP = ponto de murcha permanente.

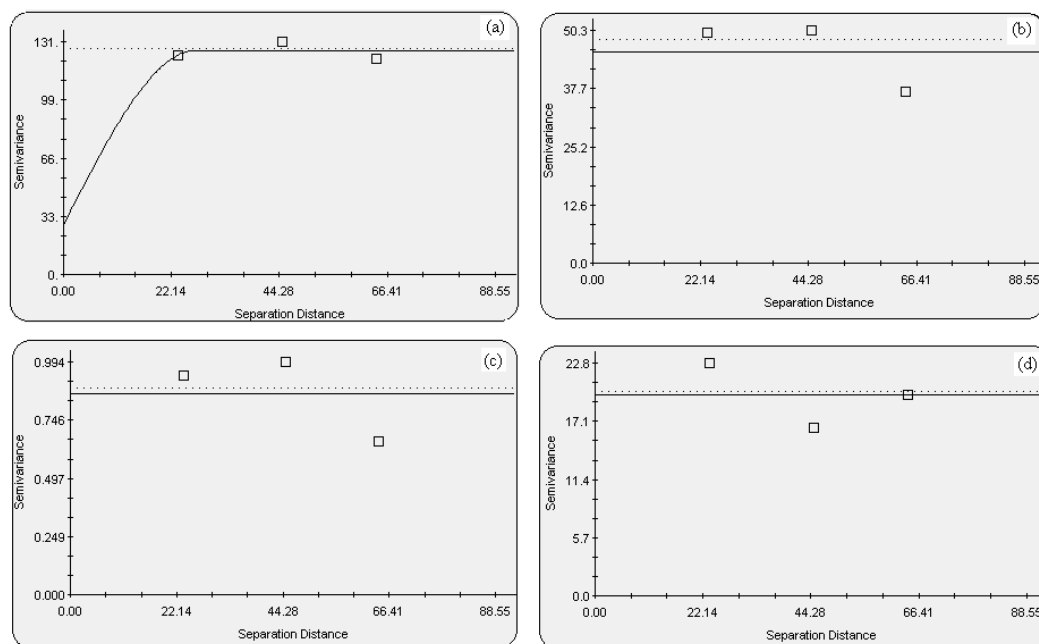
Apesar dos resultados distintos obtidos nas duas áreas, a análise permite destacar variáveis que se repetem como possíveis causas da variação da produção. As variáveis físico-hídricas do solo com mais possibilidade de influenciar a produção do arroz são ponto de murcha permanente e água disponível, de forma positiva, e teor de argila e densidade do solo, de forma negativa. A matéria orgânica, como se pode esperar, tem boa indicação de influenciar a produção. Entre os micronutrientes, ferro e zinco parecem influenciar de forma negativa e, entre o macronutrientes, fósforo e potássio parecem beneficiar a produção, como se poderia esperar, enquanto que o magnésio destaca-se pela influência negativa, tendência também observada para o cálcio. Durigon (2007) estudaram a cultura do arroz branco na região sul do país e confirmou a não

repetição das correlações de uma área para a outra. Fatores de manejo e/ou características do solo e da água de irrigação podem causar este comportamento.

4.5 SEMIVARIOGRAMAS E KRIGAGEM DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E QUÍMICOS DO SOLO

4.5.1 Semivariogramas e mapas de isozonas para Área 1

Os semivariogramas e mapas de isozonas foram confeccionados apenas para as variáveis que apresentaram correlação com os componentes de produção, em cada área e profundidade. A interpolação por Krigagem foi realizada apenas para as variáveis que apresentaram dependência espacial, as demais foram interpoladas pelo inverso do quadrado da distância. A variável química da Área 1 que apresentou correlação espacial com os parâmetros de produção foi o cálcio, na profundidade de 0 a 15 cm (Figura 4a). A falta de dependência espacial, nesta profundidade, pode indicar as diversas modificações ocorridas em função do preparo do solo e da irrigação.



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

Ca²⁺ (cmol_ddm⁻³): Esférico ; Co = 28,2; (Co+C) = 126,8; Ao = 27,3; GD% = 22,24

P (mg dm⁻³): Efeito Pepita

Zn²⁺ (mg dm⁻³): Efeito Pepita

MO (g kg⁻¹): Efeito Pepita

Figura 4— Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1: (a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

A Figura 4a também expõe o modelo esférico como de melhor ajuste para cálcio, com grau de dependência espacial forte, segundo Cambardella et al. (1994). O alcance obtido (27,3 m) indica a distância na qual esta variável é espacialmente dependente. Por isto, foi possível realizar a interpolação por Krigagem, estimar valores em locais não amostrados e confeccionar mapas de isozonas. As variáveis, fósforo, zinco e matéria orgânica (Figura 4b,c,d), apresentaram efeito pepita puro, que indica um grau de dependência espacial infinitesimalmente pequeno, no qual os semivariogramas permanecem constantes independentemente da distância entre amostras, ou seja, para a distância de amostragem utilizada, a variação nos dados tem causas aleatórias, de modo que, para gerar mapas de isozonas utilizou-se a metodologia do inverso do quadrado da distância.

Os mapas de isozonas da profundidade de 0 a 15 cm na Área 1 permitem observar a distribuição espacial de valores das variáveis, cálcio, fósforo, matéria orgânica e zinco (Figura 6). Analisando-se o comportamento do cálcio, observa-se uma faixa vertical de valores baixos na abscissa de 70 m, os quais aumentam para os dois lados. Isto pode indicar uma distribuição do elemento nas duas direções, levado pela água de irrigação.

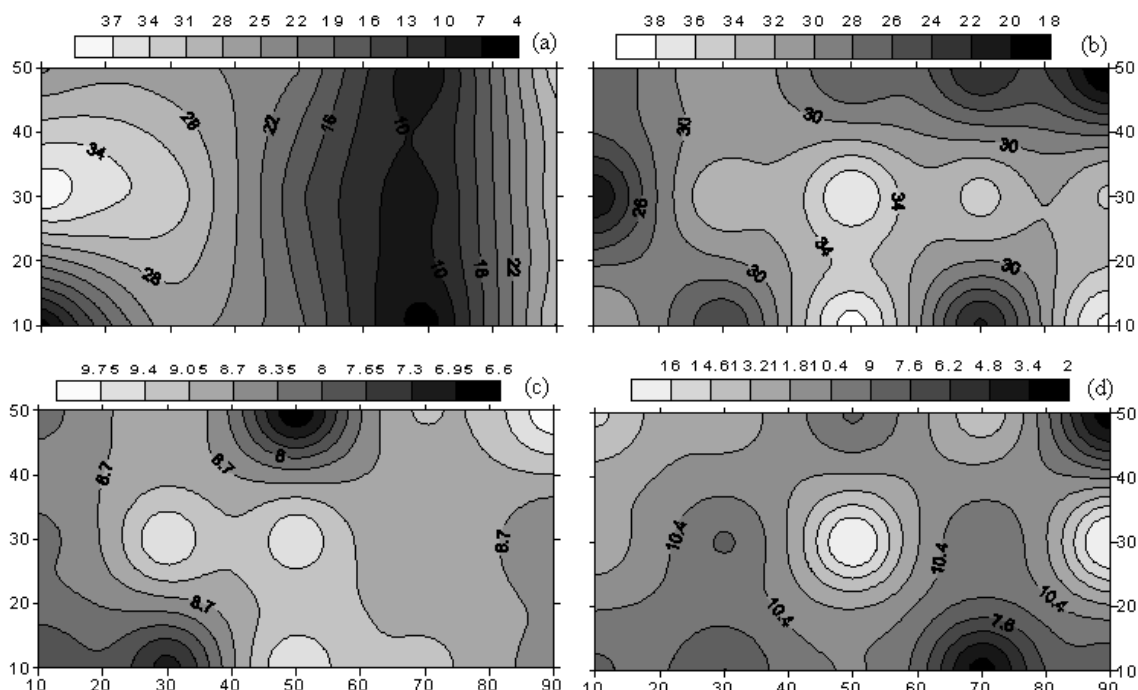
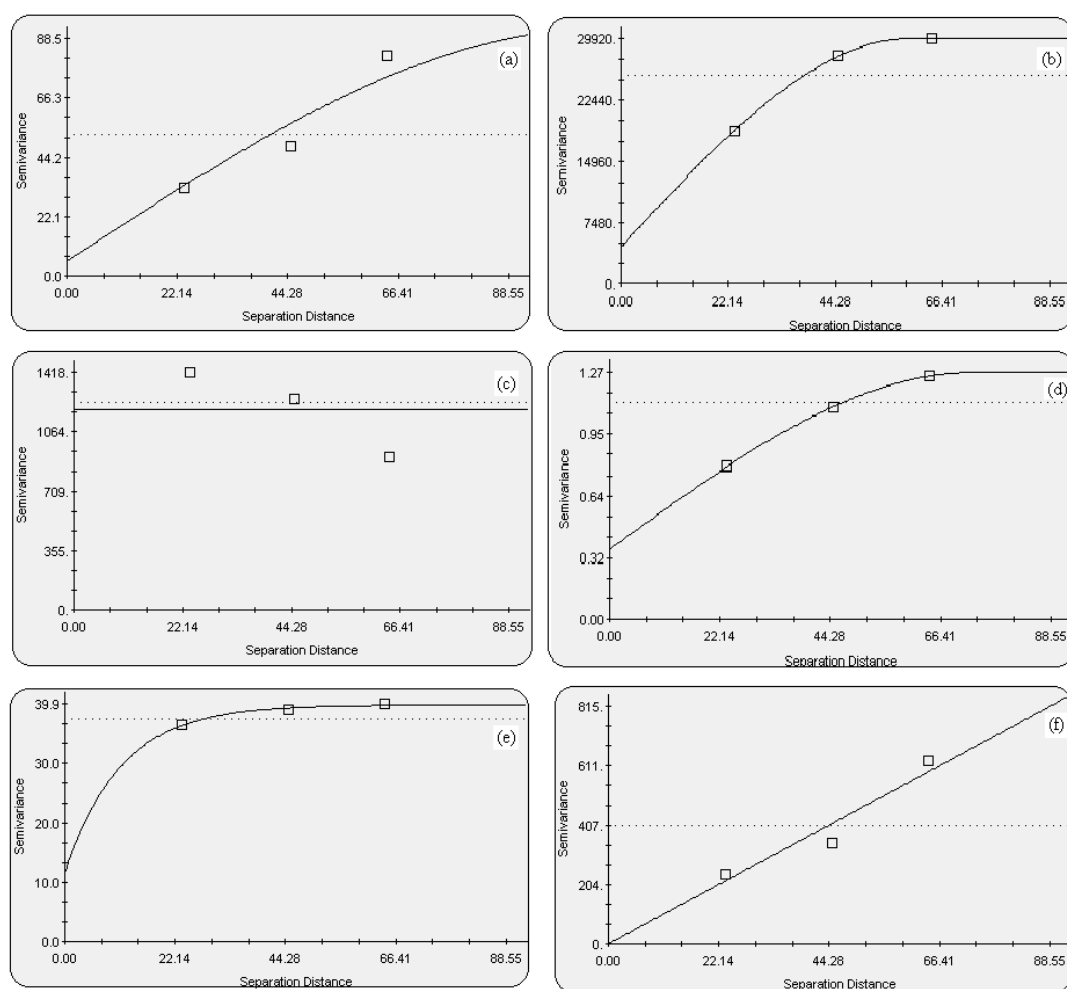


Figura 5— Mapa de isozonas para a profundidade de 0 a 15 cm, na Área 1, das variáveis:(a) Cálcio; (b) Fósforo; (c) Zinco e (d) Matéria orgânica, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

As variáveis, fósforo e zinco (Figura 6b,c) são semelhantes na distribuição central

dos maiores valores e diminuição para as extremidades, isto pode ser devido a serem mais depositados naqueles locais. Segundo Fageria (2000), a maioria dos solos brasileiros é deficiente em fósforo e a aplicação de fertilizante para corrigir sua deficiência pode contribuir para a escassez de Zn, devido ao antagonismo entre estes nutrientes. O acúmulo de matéria orgânica no centro da área (Figura 6b), com os teores diminuindo progressivamente em direção às extremidades, pode indicar a existência de área mais baixa no centro, onde a água se acumula por mais tempo, diminuindo a taxa de decomposição da matéria orgânica.

Os semivariogramas das variáveis químicas do solo na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1, indicam que apenas o potássio (Figura 6c) apresentou efeito pepita puro. Como as outras variáveis apresentaram dependência espacial, os efeitos da mobilização do solo e da irrigação, nesta profundidade, parecem ser menores.



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

P(mg dm⁻³): Modelo = Esférico; Co = 5,5; (Co+C) = 92; Ao = 106,7 m; GD%=5,98 %

Na⁺ (mg dm⁻³): Modelo = Esférico; Co = 4510; (Co+C) = 29920; Ao = 59,4 m; GD%=15,07

K⁺ (mg dm⁻³): Modelo =Efeito Pepita

Cu²⁺ (mg dm⁻³): Modelo = Esférico; Co = 0,35; (Co+C) = 1,27; Ao = 72,7 m; GD%=27,56

Mn^{2+} (mg dm⁻³): Modelo = Exponencial; Co = 11,59; (Co+C) = 39,82; Ao = 11,2 m; GD%=29,11
 Fe^{2+} (mg dm⁻³): Modelo = Linear; Co = 0,1; (Co+C) = 244,8; Ao = 26,6 m; GD%=0,04

Figura 6— Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 15 a 30 cm da Área 1: (a) Fósforo; (b) Sódio; (c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês e (f) Ferro, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

As variáveis, fósforo, sódio e cobre (Figura 6a,b,d), ajustaram-se ao modelo esférico, com grau de dependência espacial forte para fósforo e sódio e moderado para cobre. As variáveis manganês e ferro (Figura 6e,f) apresentam, respectivamente, modelo exponencial e linear com moderado e forte grau de dependência espacial. Em estudos sobre variabilidade espacial de características químicas do solo é comum serem obtidos modelos esférico e exponencial (CARVALHO et al. 2002; SILVA et al. 2003; MIRANDA et al., 2004). O alcance variou de 11,2 m, para o manganês, até 106,7 metros, para o fósforo.

Observa-se nos mapas de isozonas da profundidade de 15 a 30 cm da Área 1, que os valores mais baixos de sódio e cobre (Figura 7b,d) ocupam maior proporção da área, tendência que é menos acentuada para o ferro (Figura 7f). Isto poderia ser explicado pela pequena mobilidade destes elementos no solo, como o sódio, que apresenta grande capacidade de lixiviação, mas não apresenta mobilidade devido a restrições como a baixa drenagem do solo.

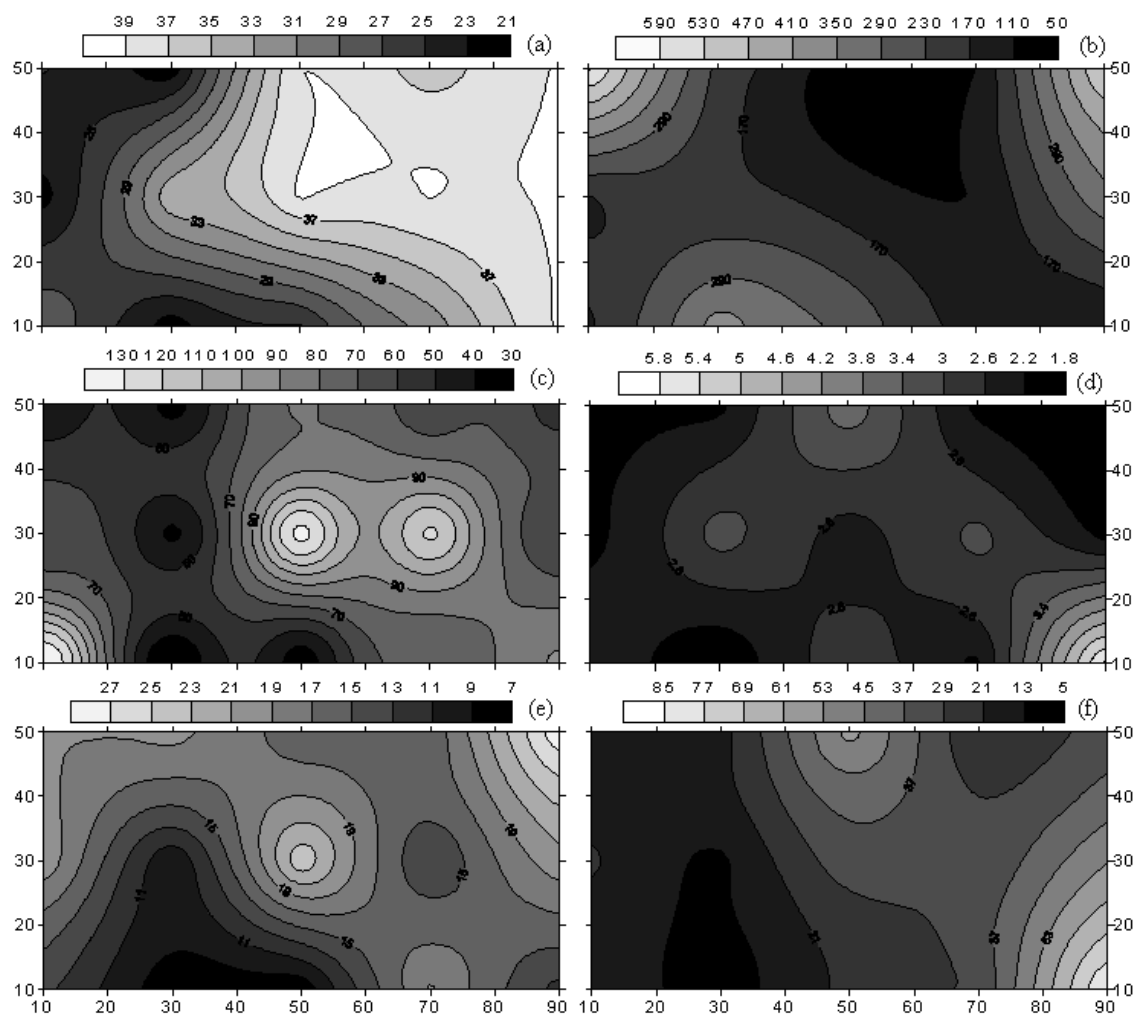
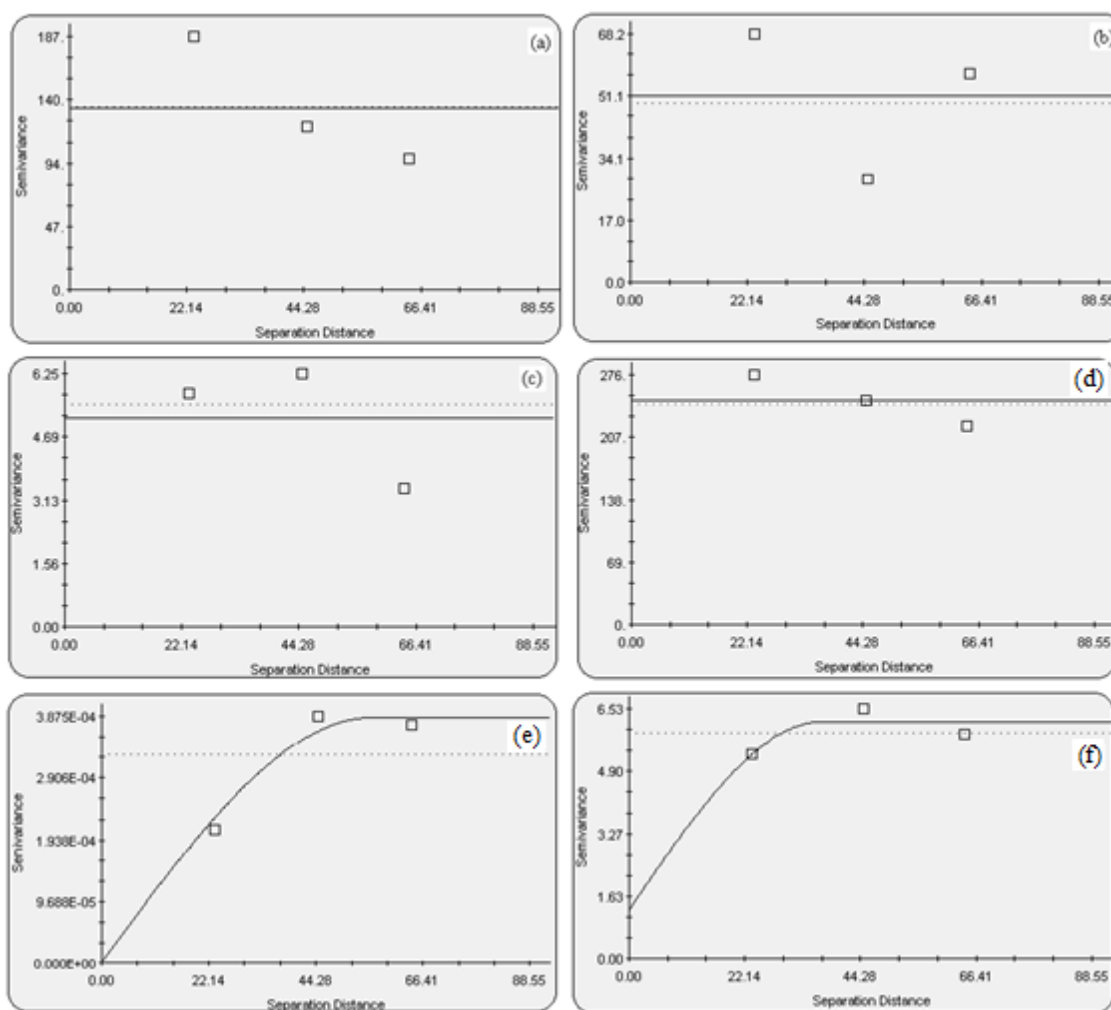


Figura 7– Mapas de isozonas na Área 1, na profundidade de 15 a 30 cm de: (a) Fósforo; (b) Sódio; (c) Potássio; (d) Cobre; (e) Manganês e (f) Ferro, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

Os mapas de isozonas de fósforo (Figura 7a) permitem verificar tendência de que os valores maiores ocupem maior proporção da área, além de se observar claramente a transição dos valores mais baixos observados, no lado esquerdo da área, para os maiores valores, no lado direito, novamente indicando os efeitos da distribuição na água de irrigação. Quanto à distribuição dos teores de sódio, pode-se observar uma inversão em relação aos de fósforo, de maneira que os locais com os maiores teores de fósforo parecem ser onde estão os menores teores de sódio. As variáveis, potássio e manganês (Figura 7c,e) também apresentam, no centro da área, predominância dos maiores valores observados.

O ajuste dos semivariogramas dos parâmetros físico-hídricos do solo é exibido na Figura 8, nas duas áreas e profundidades.



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

- (a) Silte (%): Modelo = Efeito Pepita
 (b) Argila (%): Modelo = Efeito Pepita
 (c) AD (mm): Modelo = Efeito Pepita
 (d) Argila (%): Modelo = Efeito Pepita
 (e) PMP ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$): Modelo = Esférico; $\text{Co} = 0$; $(\text{Co} + \text{C}) = 0,0040$; $\text{Ao} = 55,9 \text{ m}$; $\text{GD}\% = 0\%$
 (f) AD (mm): Modelo = Esférico; $\text{Co} = 1,28$; $(\text{Co} + \text{C}) = 6,2$; $\text{Ao} = 36,9 \text{ m}$; $\text{GD}\% = 20,65\%$

Figura 8— Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1 de: (a) Silte; (b) Argila e (c) Água disponível; e na profundidade de 15 a 30 cm de: (d) Argila; (e) Ponto de murcha e (f) Água disponível, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

As variáveis da camada de 0 a 15 cm na Área 1 (Figura 8b,c,d) apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não mostraram dependência espacial, assim como argila na camada de 15 a 30 cm. Enquanto que ponto de murcha e água disponível, da camada de 15 a 30 cm (Figura 8e,f), apresentaram dependência espacial e ajuste ao modelo esférico de semivariograma. O ponto de murcha apresentou alcance de 55,6 m e forte dependência espacial, enquanto a água disponível apresentou alcance de 36,9 m e dependência moderada. Nunes (2008), trabalhando com solos da mesma região, obteve forte dependência espacial para teores de areia, silte e argila na profundidade de 0 a 20

cm. As figuras de isozonas de parâmetros físico-hídricos da Área 1 estão apresentadas na Figura 9.

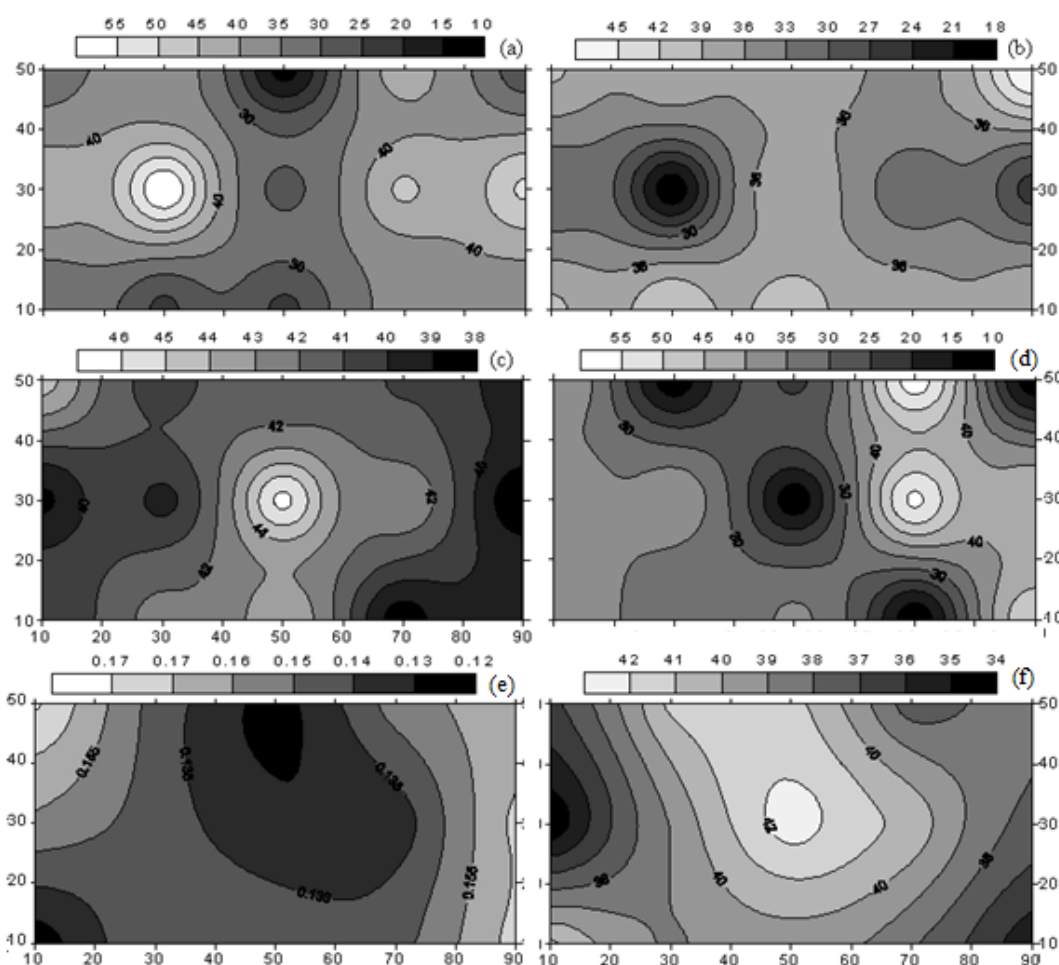


Figura 9– Mapas de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 1, das variáveis: (a) Argila; (b) Silte e (c) água disponível na; profundidade 15 a 30 cm de: (d) Argila; (e) Ponto de murcha e (f) Água disponível em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

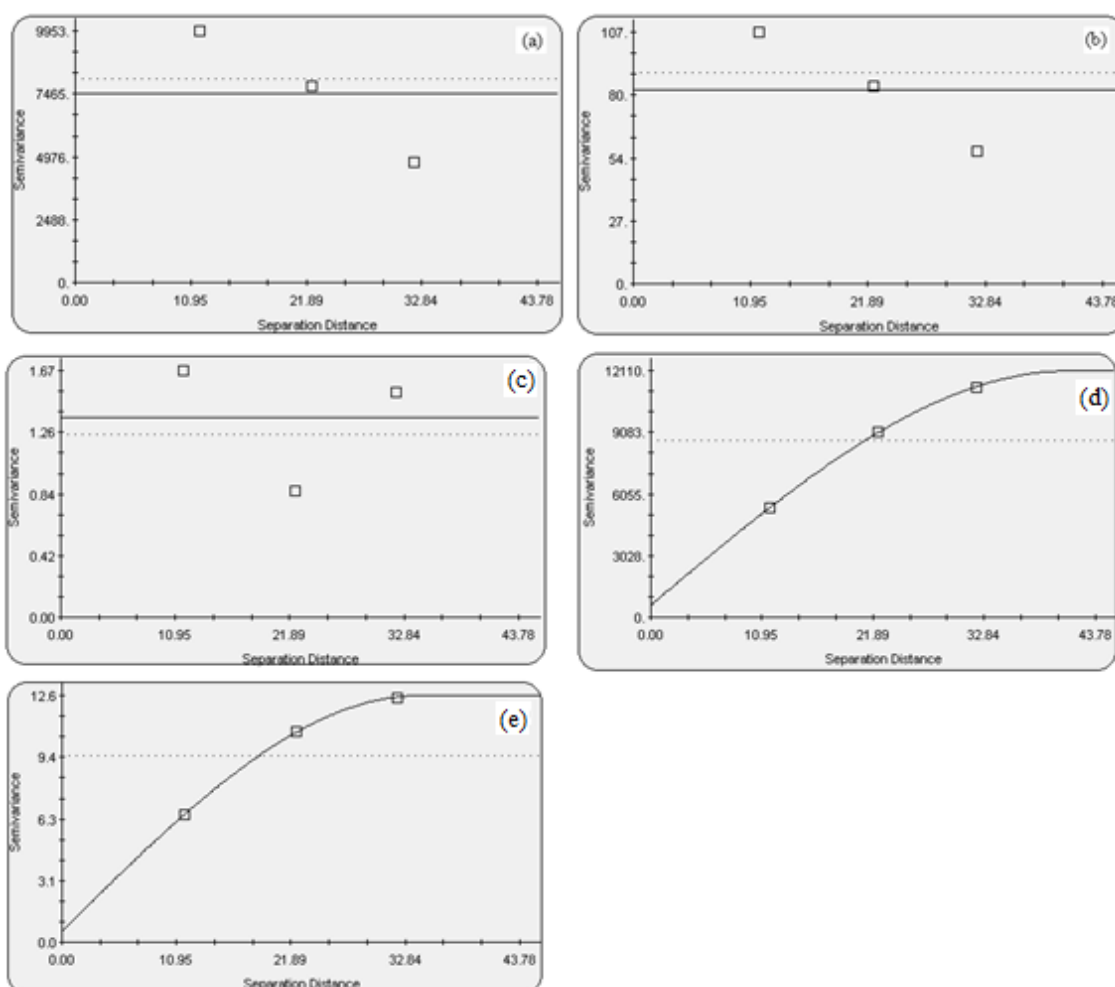
A Figura 9a,b permite constatar que os mapas de isozonas de teores de argila e silte na camada de 0 a 15 cm, apresentam distribuições de valores semelhantes, porém inversas, ou seja, a partir da faixa central em direção às laterais, os teores de argila aumentam e os de silte diminuem. Isto é consequência do pelo método de determinação do silte, o qual é feito por diferença da massa total para a soma de areia e argila.

Quando se analisam as isozonas de água disponível na camada de 0 a 15 cm e a de argila na camada de 15 a 30 cm (Figura 9c,d), também se nota uma região central dos maiores valores no caso da argila e dos menores no caso da água disponível. A semelhança das distribuições de valores de ponto de murcha e de água disponível na camada de 15 a 30 cm (Figura 9e,f), porém de forma invertida também é consequência

de que a água disponível é obtida pela diferença entre as quantidades de água na capacidade de campo e no ponto de murcha.

4.5.2 Semivariogramas e mapas de isozonas para área 2

Os semivariogramas da Área 2, indicam, na profundidade de 15 a 30 cm, haver dependência espacial apenas das variáveis manganês e matéria orgânica (Figura 10d,e), ajustadas ao modelo esférico, com forte dependência espacial e alcance entre 34 a 41 m, raios dentro dos quais todos os vizinhos podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (VIEIRA; LOMBARDI NETO, 1995). Outros pesquisadores também obtiveram, em seus trabalhos, forte dependência espacial de características químicas do solo (SILVA; CHAVES, 2001; SILVA et al., 2003; MIRANDA et al., 2004).



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

$\text{Fe}^{2+}(\text{mg dm}^{-3})$: Modelo = Efeito Pepita

$\text{Zn}^{2+}(\text{mg dm}^{-3})$: Modelo = Efeito Pepita

Mg^{2+} (cmol_c dm⁻³) : Modelo = Efeito Pepita

Mn^{2+} (mg dm⁻³) : Modelo= Esférico; Co= 600; (Co+C) = 12110; Ao = 41,15 m; GD%= 4,95%

MO (g kg⁻¹): Modelo= Esférico; Co= 0,56; (Co+C) = 12,56; Ao = 34,07 m; GD%= 4,46%

Figura 10– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade de 0 a 15 cm na Área 2, de: (a) Ferro e (b) Zinco; e na profundidade de 15 a 30 cm, de: (c) Magnésio; (d) Manganês; (e) Matéria orgânica, em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

As demais variáveis expostas na Figura 10 apresentaram efeito pepita puro, podendo-se assumir que a distribuição é aleatória e existe independência entre amostras e a estatística clássica pode ser aplicada ao conjunto de dados, os quais serão representados pela média aritmética. Nestes casos, é provável que a dependência espacial ocorra em distância menor do que a utilizada entre os pontos de amostragem (VIEIRA, 2000). O efeito pepita puro para magnésio também foi encontrado por Mendes et al. (2007) em Cambissolo no Rio Grande do Norte.

Através dos mapas de isozonas da área 2, profundidade de 15 a 30 cm, apresentados, observa-se que a variável manganês (Figura 11d) apresenta pequena variação dentro da área e maior proporção da área ocupada pelos valores mais baixos, o mesmo ocorre com o magnésio (Figura 11c), enquanto o zinco na camada de 0 a 15 cm, apresenta predominância de menores valores no centro da área. Para matéria orgânica (Figura 11e), observa-se decréscimo nos valores no sentido da extremidade da área para o centro.

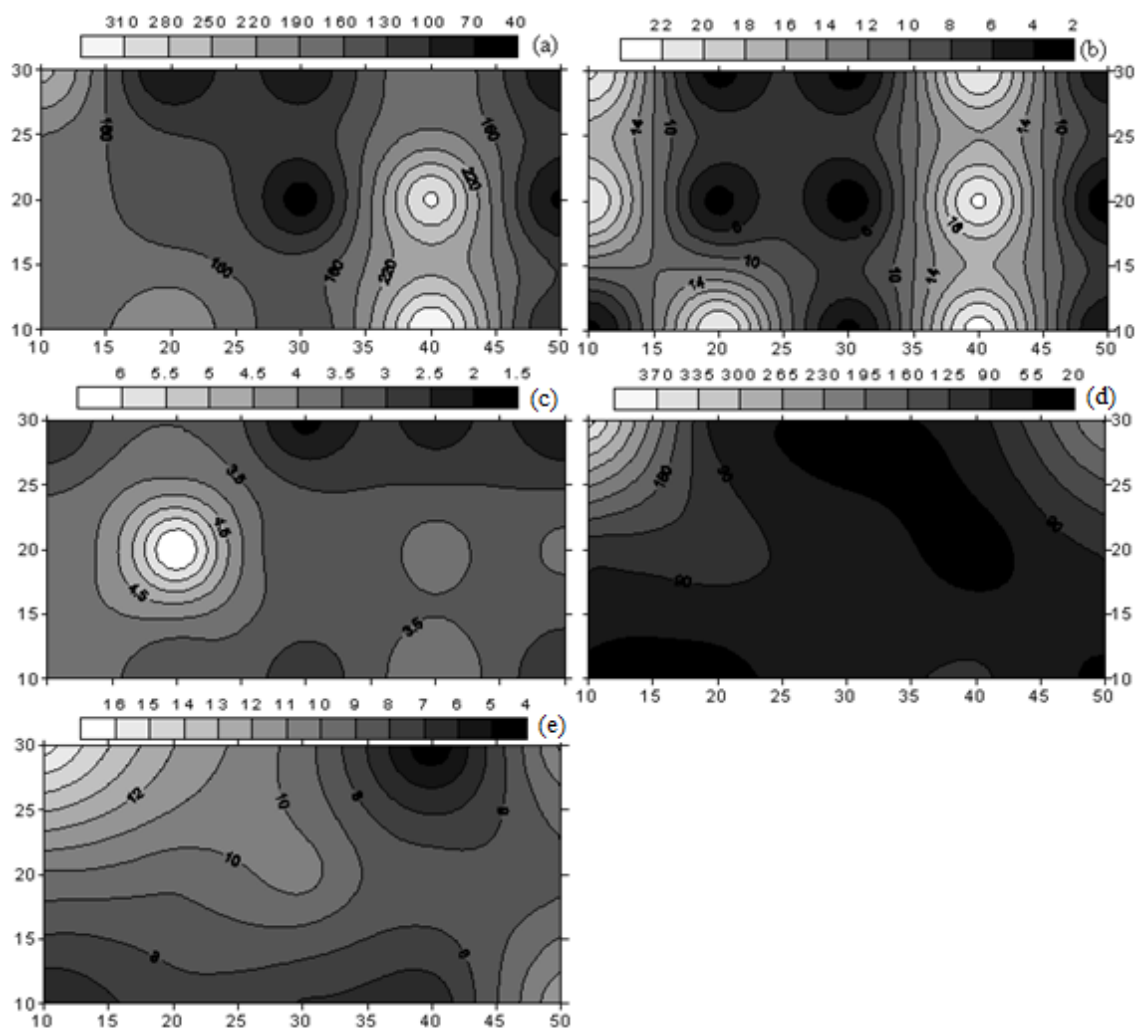
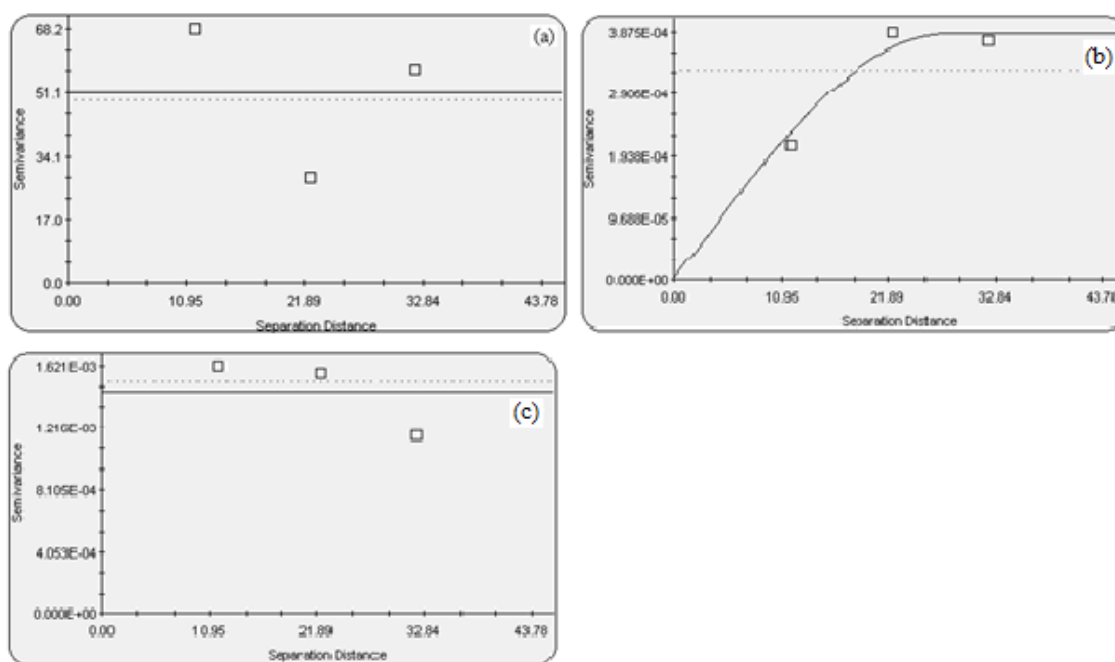


Figura 11– Mapas de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 2, das variáveis: (a) Ferro e (b) Zinco; na profundidade 15 a 30 cm de: (c) Magnésio; (d) Manganês e (e) Matéria orgânica em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

O ajuste dos semivariogramas aos parâmetros físico-hídricos do solo é apresentado na Figura 12. Observa-se novamente efeito pepita para variável argila (Figura 12a) como apresentado na profundidade de 0 a 15 cm da Área 1, pode-se pressupor, então, que ocorreu independência entre as amostras ou, grande variação espacial não detectada pela escala de amostragem adotada. A redução da escala adotada poderia resultar no ajuste a um modelo teórico do semivariograma experimental. Observa-se o ajuste do modelo esférico ao semivariograma do ponto de murcha, na camada de 15 a 30 cm, com forte dependência espacial, e um alcance de 27,96 metros. E efeito pepita puro para variável densidade aparente, então, admite-se que ocorreu independência entre as amostras.



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

Argila (%): Modelo = Efeito Pepita

PMP (cm³ cm⁻³): Modelo= Esférico; Co= 0; (Co+C) = 0,0004; Ao = 27,96 m; GD%= 0 %

Dg (g cm⁻³): Modelo = Efeito Pepita

Figura 12– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste na profundidade 0 a 15 cm da Área 2, de: (a) Argila na; profundidade 15 a 30 cm de: (b) Ponto de murcha e (c) Densidade aparente, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

O mapa de isozonas da área 2, para a variável argila na camada de 0 a 15 cm (Figura 13a) apresenta faixa central com os menores valores observados, os quais apresentam em direção às laterais da área. A Figura 13b apresenta o mapa de isozonas do ponto de murcha permanente, cujos valores mais altos estão na extremidade superior esquerda do mapa e se distribuem transversalmente para a extremidade inferior direita. No caso da densidade do solo (Figura 13c) observa-se manchas significativas de solo compactado.

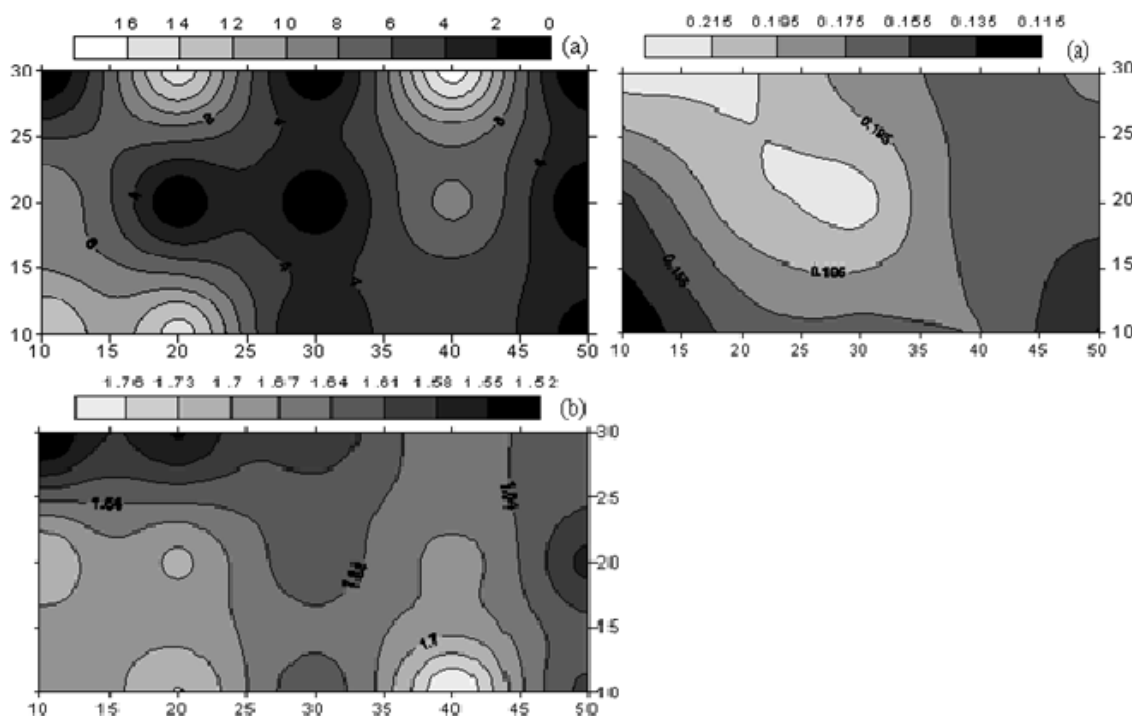
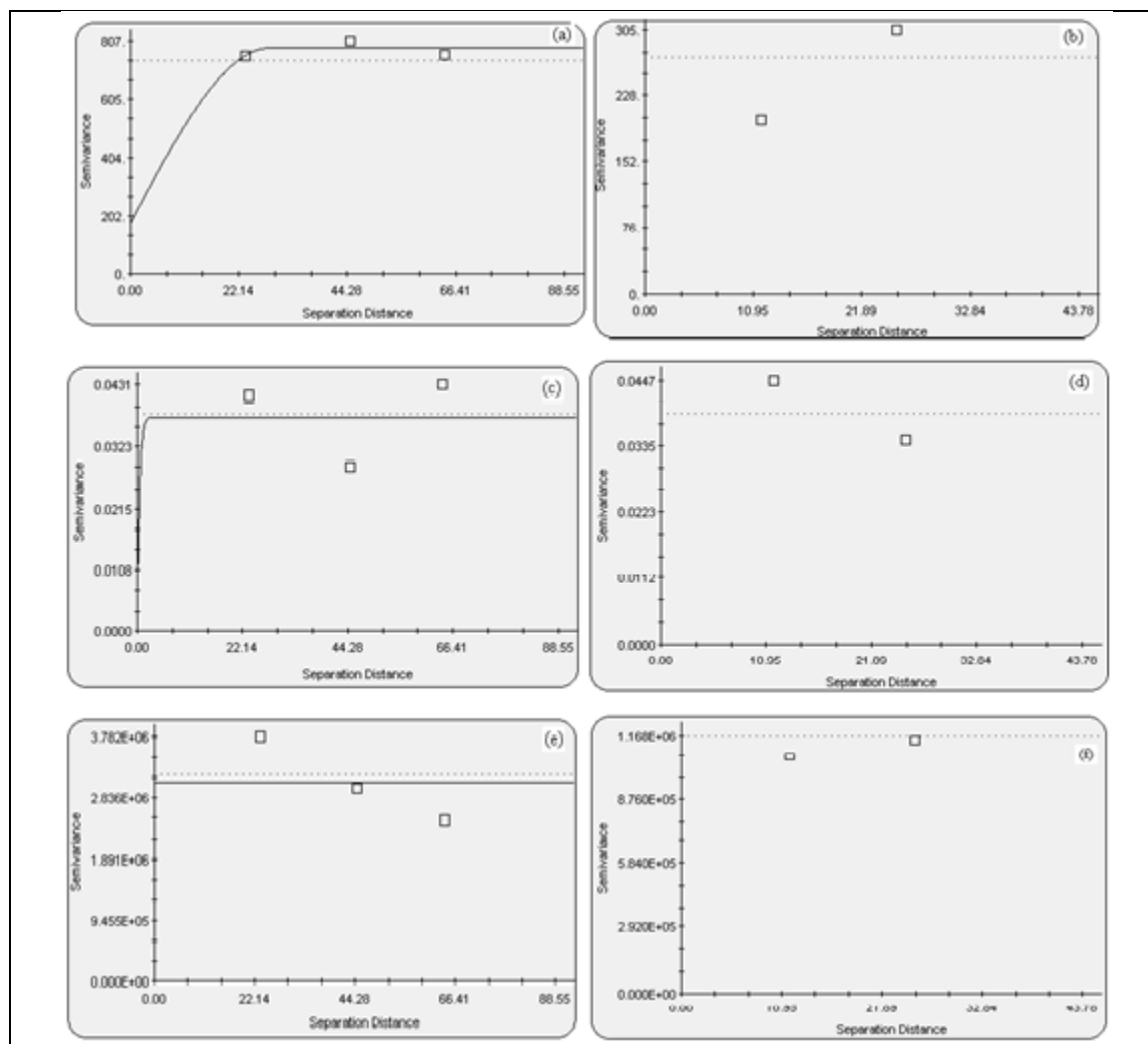


Figura 13– Mapa de isozonas da profundidade 0 a 15 cm na Área 2, para a variável: (a) Argila; e na profundidade de 15 a 30 cm de: (b) Ponto de murcha e (c) Densidade aparente, em estudo sobre a variabilidade da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

4.6 SEMIVARIOGRAMAS E MAPAS DE ISOZONAS DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados às variáveis de produção estão apresentados na Figura 14. Para Área 1 observa-se o ajuste do modelo esférico para o número de panículas (Figura 14a), com forte dependência espacial e um alcance desta dependência de 28,4 metros. Para a massa de 100 grãos (Figura 14c) o modelo ajustado foi o exponencial, também com forte dependência espacial, e com um alcance de 0,5 metros; enquanto que a produtividade apresentou efeito pepita puro. Observa-se que para Área 2 não houve ajuste de modelo para os semivariogramas, o que pode ser atribuído ao reduzido número de pontos amostrais, e a problemas de manejo da cultura, os quais se manifestaram nos baixos valores dos componentes de produção.



Parâmetros dos modelos de semivariogramas

Número de panículas A1: Modelo Esférico; Co - 178; (Co+C) - 784.2; Ao - 28.4 m; GD% = 22.7
 Massa de 100 grãos A1: Modelo Exponencial; Co -0.008; (Co+C) - 0.038; Ao -0.5 m; GD% = 21.05
 Produtividade A1: Modelo Efeito Pepita Puro
 Número de panículas A2: Modelo Efeito Pepita Puro
 Massa de 100 grãos A2: Modelo Efeito Pepita Puro
 Produtividade A2: Modelo Efeito Pepita Puro

Figura 14– Semivariogramas experimentais e parâmetros de ajuste de: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos na Área 1; (d) Massa de 100 grãos na Área 2; (e) Produtividade na Área 1 e (f) Produtividade na Área 2, em estudo sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

Analisando a produtividade encontrada nas duas áreas, observa-se que a Área 1, apresenta produtividade média maior que na Área 2, e os valores de massa de 100 grãos e número de panículas também são superiores. Os resultados de produtividade, número de panículas, e massa de 100 grãos, são semelhantes aos encontrados por Nunes (2008) e por Diniz Filho (2009), quando realizaram pesquisas na mesma região. Observa-se nos mapas que a massa de 100 grãos, na área 1, apresenta baixa variação dentro da área,

maior proporção dela ocupada pelos valores menores, já na área 2 essa variação é maior e os maiores valores predominam no centro da área. Observa-se na área 1 uma maior uniformidade da produtividade, com maior proporção da área ocupada por valores mais altos, em relação à área 2.

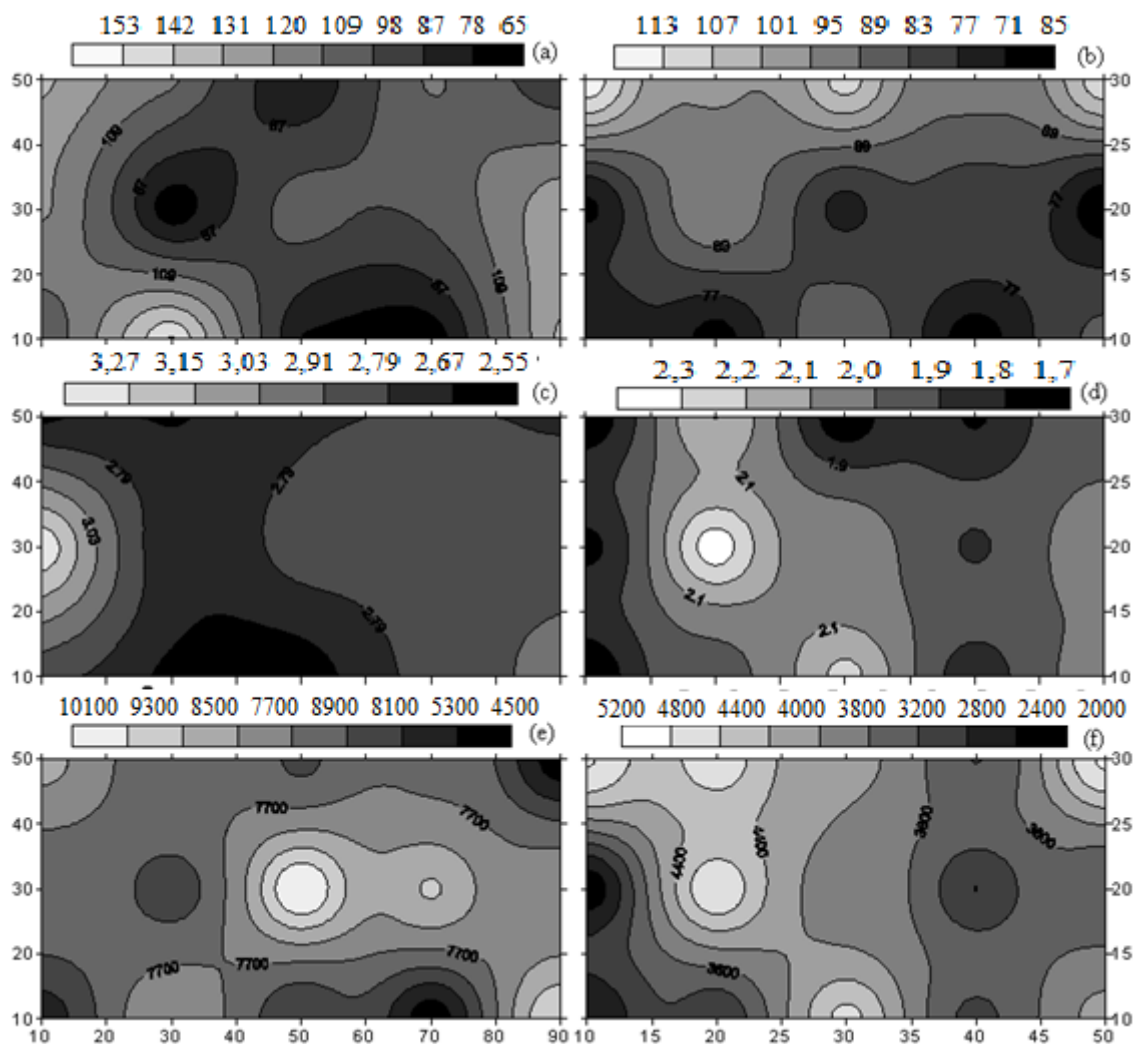


Figura 15– Mapa de isozonas para as variáveis: (a) Número de panículas na Área 1; (b) Número de panículas na Área 2; (c) Massa de 100 grãos da Área 1; (d) Massa de 100 grãos da Área 2; (e) Produtividade da Área 1 e (f) Produtividade da Área 2, em experimento sobre a variabilidade espacial da produção de arroz vermelho. Apodi – RN, 2012

O mapa de isozonas do número de panículas da área 1 (Figura 15a) apresenta pequenas manchas com valores baixos, e predominância de valores mais altos em proporção da área. Na área 2 (Figura 15b) destaca-se uma região com valores mais baixos de número de panículas, na metade inferior do mapa. Quanto à massa de 100 grão, na área 1 (Figura 15c) observa-se pouca variação de valores, com menores valores

que não são considerados baixos, predominando em uma faixa vertical correspondente à abscissa de 30 a 50 m.

A produtividade das áreas (Figura 15e,f) apresentam suavemente predominância de maiores valores observados, com pequenas manchas dos valores mais baixos, porém, deve-se ressaltar que os valores mais altos da área 2, correspondem a metade dos valores mais altos da área 1, onde existe uma mancha central com produtividades ao redor de $10.000 \text{ kg.ha}^{-1}$.

5 CONCLUSÕES

As produtividades médias foram de 7.527 kg ha⁻¹ e 3.832 kg ha⁻¹, para área 1 e 2, respectivamente.

As variáveis físico-hídricas do solo que se correlacionaram positivamente com os componentes de produção foram: ponto de murcha, argila e silte; e negativamente: água disponível, densidade aparente e argila.

As variáveis químicas do solo que se correlacionaram positivamente com os componentes de produção foram: fósforo, potássio, manganês, ferro e matéria orgânica; e negativamente: cálcio, magnésio, sódio, zinco, cobre e ferro.

Os mapas de isozonas confeccionados permitiram visualizar a distribuição de cada elemento que influencia os parâmetros de produção do arroz vermelho, cultivado no Vale do Rio Apodi – RN, se tornando uma importante ferramenta para o planejamento da produção dessas áreas.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; MEROTTO JUNIOR, A.; VIDAL, R. A. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.2, p.341-349, 2001.
- ALONSO, S. A.; SANTOS, A. B.; GOMES, A. S. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. Pelotas RS: **Embrapa Clima Temperado**, 2005. Versão Eletrônica disponível em: <<http://www.embrapa.cnpaf.br>>. Acesso em 17 de abril de 2012.
- AMARAL, A. dos S; GONÇALVES, A. R. e GARDELLINO, R. A. Produção de arroz em função do teor de sódio no solo. **Lavoura Arrozeira**. v.45, n. 403, p.16-19. 1992.
- AMARAL, A. S.; GONÇALVES, A. R. Efeito da salinidade do solo na produção de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.46, n.411, p.8-12, 1993.
- ANGÉLICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.931-936, 2006.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros e planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.519-527, 2002.
- BARBER, S. Soilbioavailability: A mechanistic approach. New York, **John Wiley & Sons**, 1995.414p.
- BELTRAME, L. F. S; LOCHPE, B; ROSA, S. M. da; MIRANDA, T. L. G. de. Lixiviação de íons em planossolovacacaísob condições de alagamento. **Lavoura Arrozeira**. Porto Alegre, v.44, n. 398, p.9 -12. 1991.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 575-580, 2004.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; KOEHLER, F.E.; GURMUNI, A.H. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, n. 6, p.1523-1528, 1991.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro: **Freitas Bastos**, 1976. 594 p.
- CAHN, M. D.; HUMMEL, J. W.,; BROUER, B. H. Spatial analiysis of soil fertility for soil-specific crop management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1240-1248, 1994.
- CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geostatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. São José dos Campos, 1997. 123p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. Solos alagados. In: BISSANI, C. A. et al. (Eds). *Fertilidade dos Solos e Adubação das culturas*. 1. ed. Porto Alegre: **Gênesis**, 2004. p.187-193.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico do Solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre - RS: **Gênesis**, 1999. p.117-137.

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 Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

COSTA, E. G. C; SANTOS dos, A. B; ZIMMERMANN, F. J. P. Características agronômicas da cultura principal e da soca de arroz irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.15-24, 2000.

COUTO, E. G; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no Sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2321-2329, dez. 1999.

CRONQUIST, A. The evaluation and classification of flowering plants. 2. ed. Bronx, **NYBG**, 1988. 559p.

DINIZ FILHO, Edimar Teixeira. **Práticas Agroecológicas na Produção de Arroz Vermelho no Vale do Apodi-RN**. 2009. 159f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2009.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oryza sativa L.)**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, PPEA, RS, 2007.

DURIGON, R. et al. Determinação da Variabilidade Espacial de Atributos de Solo e Produtividade na Cultura do Arroz Irrigado Através de Técnicas de Agricultura de Precisão. IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado/XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. **Anais...**, Santa Maria. p. 392-394. 2005.

EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. **Agropecuária Catarinense**. Florianópolis. v. 7, n. 1, p. 51-53, mar. 1994.

EHRLER, W. Some effects of salinity on rice. **Bot. Gazette**, 122:102-104, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. Serviço de Produção de Informações. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na Produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.390-395, 2000.

FLECK, N. G. et al. Interferência de plantas concorrentes em arroz irrigado modificada por métodos culturais. **Planta Daninha**, viçosa, v.22, n. 1, p. 19-28, 2004.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M. de; MORAIS, O. P. de; SOARES, A. A.; PEREIRA, J. A.; LOBO, V. L. da S.; RESENDE, J. M. Descrição morfológica, agrônômica, fenológica e culinária de alguns tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.). Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2007. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 210).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Statistical Databases Agriculture**, 2005. Disponível em: <<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>>. Acesso em: 17 de abril de 2012.

FRAGA, T. I.; GENRO JUNIOR, S. A.; INDA, A. V.; ANGHINONI, I. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.33 no.3 Viçosa March/June 2009.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 703-7, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. Produção Agrícola Municipal 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 01/10/2011.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. de P, LIMA, C. G. da R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade de feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.361-369, 2007.

KUZYAKOVA, I.F.; ROMANENKOV, V.A. & KUZYAKOV, Ya.V. Geostatistics in soilagrochemical studies. **European Journal of Soil Science**, Cranfield, v.34, p.1011-1017, 2001.

LIMA, K. S. D. de. **Alterações dos parâmetros climáticos no município de Apodi-RN, antes e após a construção da Barragem Santa Cruz do Apodi, e formação do lago**. Natal, 2007. 931. (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LOPES, A. S. Manual de interpretação de fertilidade do solo. 2ª Ed. Piracicaba, **Potofos**, 1998, 177 p.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MEDARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1023-1031, jun. 2006.

MACHADO, S. L. de O. Consumo e qualidade da água na lavoura de arroz irrigado e efeitos no jundiá. In: SEMINÁRIO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA LAVOURA DE ARROZ IRRIGADO, 2003, Porto Alegre. **Palestras**. Porto Alegre: FARSUL, 2003. Disponível em CD-ROM.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação. 2ª Ed. Piracicaba, **Potafos**, 1997, p. 319.

MALLARINO, A. P. Spatial variability patterns of phosphorus and potassium in notilled soils for two sampling scales. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1473-1481, 1996.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: CONIRD, 2001. p. 59-63.

MENDES, A. M. S., DUDA, G. P., LIMA, J. A. G., AMORIM, L. B, Variabilidade espacial e características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte. **Revista de biologia e ciências da terra**. Volume 7 - Número 2 - 2º Semestre 2007. P. 169-174.

MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.3, p.1133-1141, 1988.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T.S.; LEVIEN, S.L.A.; MEDEIROS, J.F. Variabilidade espacial da produção do meloeiro irrigado por gotejamento na fazenda Santa Júlia em Mossoró-RN. **Caatinga**, v.17, p.121-128, 2004.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, fev. 1992.

MONTOMIYA, A. V.; CORÁ, J. E; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.485-496, 2006.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. V.; KUNKEL, R. Methods for removing spatial variability from field research trials. **Advances in Soil Science**, v.13, p.201-213. 1990.

NUNES, C. G. F. **Variabilidade espacial de atributos que influenciam a produção de arroz vermelho irrigado no município de Apodi-RN**. 2008. 56f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2008.

OLIVEIRA, A. S. C. **Mapeamento da variabilidade espacial da produção da cafeicultura de montanha**. 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. 3. ed. Piracicaba: **FEALQ**, 2008. 592 p.

PANTONE, D. J.; BAKER, J. B. Reciprocal yield analysis of red rice (*Oryza Sativa*) competition in cultivated rice. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.1, p.42-47, 1991.

PEREIRA, J. A. O arroz vermelho cultivado no Brasil. Teresina: **EMBRAPA Meio Norte**. 90 p. 2004.

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; CUTRIM, V. DOS A.; VALDENIR, Q. R. Comparação entre características agronômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. **Caatinga**. v. 22, n.1. p. 243-248. 2009.

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R.; RIBEIRO, V. Q. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado. **Caatinga**, v.20, p.43-48, 2007.

PEREIRA, J. A.; RAMOS, S. R. R. Cultura do arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.) no Brasil. Teresina PI: **Embrapa Meio-Norte**, 2004. 6p.

PEREIRA, J.A. Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2002. 226p.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Adv. Agron.**, 24:29-96, 1972.

PONTES, A.C.F.; CORRENTE, J.E. The use of nonparametric contrasts in one-way layouts and random block designs. **Journal of Nonparametric Statistics**, v.17, n.3, p.335-346, 2005.

R Development Core Team (2006). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RANNO, S. K. **Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS**. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ROBERTSON, G.P. **GS+: Geoestatistics for the enviromental sciences**. Michigan: **Gamma Design Software Plainwell**, 1998. 152 p.

ROQUE, C. G; CENTURION, J. F; PEREIRA, G. T; BEUTLER, A. N; FREDDI, O. da S; ANDRIOLI, I. Mapeamento da produtividade e perímetro do tronco de clones de seringueira em Argissolo Vermelho Amarelo. *Ciências Florestais*. n.70, p.56-66, 2006.

ROSSO, João Carlos. **Avaliação do consumo de água em lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado nas condições climáticas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2007.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, n. 4, p.565-573, abr. 1999.

SCHERPINSKI, C. **Variabilidade espacial da atributos físicos e hídricos do solo e produtividade da soja em uma área comercial**. Cascavel. 2005 138p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). *Arroz Irrigado no Sul do Brasil*. Brasília - DF: Embrapa **Informação Tecnológica**, 2004, p.259-303. cap. 9.

SHETRON, S.G. Distribution of free iron and organic carbon as related to available water in some forested sandy soils. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 38, n.2, p. 859-862, 1972.

SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, 1988. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SILVA, P.C.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.431-436, 2001.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.27, p.1013-1020, 2003.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. Keynote Paper. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe Research Institute, AgEng 2000, UK, 76: 267-275, 2000.

SWEENEY, M.T.; THOMSON, M.J.; PFEIL, B.E.; MCCOUCH, S. Caught red handed: Rc encodes a basic helix-loop-helix protein conditioning red pericarp in rice. **The Plant Cell**, v.18, p.283-294, 2006.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). Arroz irrigado no sul do Brasil. **Embrapa**, Brasília - DF, 2004, cap. 4, p. 97-118.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 997-1005, 2001.

VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. Agricultura de Precisão. Viçosa: **Editora UFV**, 2000. p.93-108.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, p. 405-412, 1995.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: **Academic Press**, 1998. p. 655-675.

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

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. **Los Baños: The International Rice Research Institute**, 1981. p.269.