



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

FERNANDA CRISTINA DE MORAIS FREITAS

ATIVIDADE MICROBIANA EM FUNÇÃO DA SALINIDADE DO SOLO

MOSSORÓ-RN

2016

FERNANDA CRISTINA DE MORAIS FREITAS

ATIVIDADE MICROBIANA EM FUNÇÃO DA SALINIDADE DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação de Ecossistema Terrestre.

Orientador: Celsemy Eleutério Maia,
Prof. Dr.

MOSSORÓ-RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semiárido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data da defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

F866a Freitas, Fernanda Cristina De

Atividade Microbiana em Função da Salinidade do Solo / Fernanda
Cristina De Moraes Freitas. - Mossoró, 2016.
54f. il.

Orientador: Prof. Dr. Celsemy Eleutério Maia

Dissertação (MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO) -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

1. Microbiologia do Solo. 2. Respirometria. 3. Latossolo vermelho
eutrófico. 4. Cambissolo háplico. 5. Salinidade - solo. I. Título

RN/UFERSA/BOT063

CDD 631.46

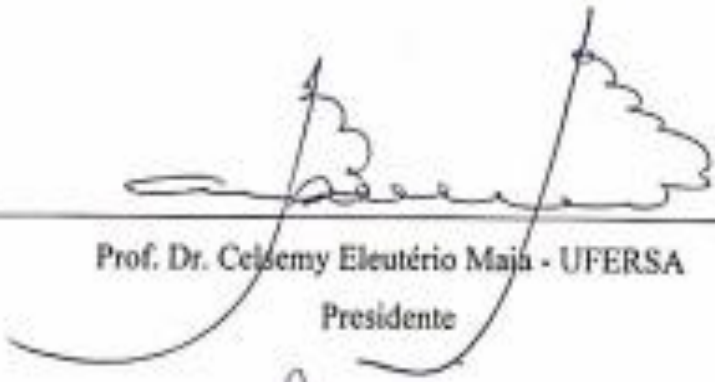
FERNANDA CRISTINA DE MORAIS FREITAS

ATIVIDADE MICROBIANA EM FUNÇÃO DA SALINIDADE DO SOLO

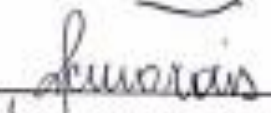
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação de Ecossistema Terrestre.

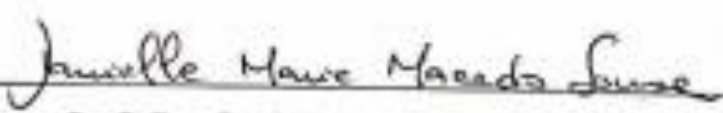
Defendida em 24 de Fevereiro de 2016



Prof. Dr. Celso My Eleutério Maja - UFRSA
Presidente



Prof. Dra. Elis Regina Costa de Moraes - UFRSA
Membro Examinador



Prof. Dra. Danielle Marie Macedo Sousa - UFRSA
Membro Examinador

MOSSORÓ-RN

2016

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação é resultado da contribuição de várias pessoas e são a elas que retribuo todo o carinho e atenção em forma dos meus mais sinceros agradecimentos;

Aos meus pais, meus grandes amigos e amor maior, por estarem sempre comigo. Muito obrigada pelo incentivo, esforço e dedicação sem medidas para mais esta etapa em minha vida. Obrigada por acreditarem em mim. A vocês dedico essa conquista. Amo-os muito;

Às minhas mães Jória, Glória e Ilma, ao meu irmão Rodrigo e ao pequeno grande Theo, minha verdadeira família e de quem recebo muito amor, que é recíproco, e apoio;

A Átilla Moreira, de forma especial e carinhosa, pelo cuidado, companheirismo, paciência, compreensão, momentos de descontração e inúmeras contribuições para a conclusão desta dissertação. A toda família Moreira, em especial dona Daura;

Às amigas, Liana Monique e Iris Helena, companheiras de mestrado; Aryane, Daniella, Bruna, Paloma e Paula pela amizade, incentivo e apoio constante; aos amigos Michell Mayko e Hamilton Andrade pela ajuda na coleta do solo, e a contribuição de Renato Melo;

Ao meu orientador, prof. Dr. Celsemy Eleutério Maia, pela oportunidade e por estar disponível a me orientar. Obrigada pela transmissão de conhecimentos, brincadeiras e pela contribuição à minha formação pessoal e profissional;

Às companheiras de laboratório: Silvinha pelo incentivo, carinho e apoio constante; Prof^a. Danielle Marie pelas incontáveis conversas, orientações, companhia, paciência, momentos de descontração e pela disponibilidade em participar da banca; a Prof^a. Elis Regina também pelas contribuições e por participar da minha banca; e Maria Valdete.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa minha conquista e que estiveram sempre torcendo por mim e pelo meu sucesso. Meu muito obrigada a todos.

RESUMO

A salinidade é um fator cada vez mais preocupante de degradação do solo e uma ameaça às comunidades microbianas, pois impede a liberação de compostos solúveis na água e restringe a capacidade metabólica dos microrganismos à biodegradação. Esta, por sua vez, faz aumentar a taxa respiratória da microbiota, a qual indica alta atividade microbiana, contudo, devido aos efeitos negativos da salinidade, a atividade microbiana tende a diminuir. Neste sentido, o presente estudo objetivou avaliar a atividade microbiana em dois solos, Latossolo Vermelho Eutrófico e Cambissolo Háplico, de áreas agrícolas localizadas no estado do Rio Grande do Norte. Os solos foram distribuídos em frascos hermeticamente fechados, organizados em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) e arranjos em esquema fatorial $2 \times 5 \times 2$, referente aos dois solos, cinco CEes (condutividade elétrica no estrato de saturação) e duas doses de matéria orgânica (presença e ausência) e, testados em triplicata. A avaliação indireta da atividade microbiana foi determinada de acordo com a Norma Especifica do Método Respirométrico de Bartha, adaptada. E então, foi feita a regressão do CO_2 em função do tempo para todos os tratamentos e, para a avaliação da produção final de CO_2 , utilizou-se o modelo de superfície de resposta. O experimento, conduzido por 133 dias de incubação, constatou uma produção de CO_2 , na mesma CEes, sempre maior nos tratamentos com adição de matéria orgânica do que na sua ausência. Para o Latossolo Vermelho Eutrófico, a maior produção de CO_2 , nos tratamentos sem e com matéria orgânica, foi em T40 e em T41, referentes aos tratamentos com a maior CEes, na ausência e presença de matéria orgânica, respectivamente; sobre à taxa de produção de CO_2 , a salinidade não afetou e, na presença de material orgânico, os tratamentos apresentaram valores superiores em relação à testemunha. No Cambissolo Háplico, a produção de CO_2 aumenta na presença de matéria orgânica, mas diminui com o aumento da salinidade, cujo efeito foi observado também para a taxa de produção de CO_2 . Portanto, houve diferença na tolerância à salinidade entre os solos, embora a adição da matéria orgânica tenha melhorado a atividade microbiana nas diferentes salinidades.

Palavras-chaves: Respirometria. Microbiologia do Solo. Matéria Orgânica.

ABSTRACT

Salinity is a factor of great concern on soil degradation and is a threat to the microbial communities, and it prevents the release of soluble compounds in water and restricts the metabolic capacity of microorganisms to biodegrade. It increases the respiratory rate of the microbiota, which indicates high microbial activity, however, due to the negative effects of salinity, microbial activity tends to decrease. The present study aimed to evaluate the microbial activity of two different types of soils, Oxisols and Inceptisols, from agricultural areas located in the state of Rio Grande do Norte. The soils were distributed in sealed bottles, arranged in a randomized block design (RBD) and arranged in a saturated paste extract factorial of scheme 2 x 5 x 2, referring to the two soils, the five E_{Ce} (electrical conductivity in the saturated paste extract) and two doses of organic material (presence or absence) and, tested in triplicate. The indirect measurement of microbial activity was determined according to the Standard Specifications of the Bartha Respirometric Method, adapted. Then, the regression of CO₂ was taken against time for all treatment and for the evaluation of the final CO₂ production, the surface response model was used. The experiment, conducted by 133 days of incubation, found a production of CO₂ always higher in treatments with the addition of organic matter than in its absence, considering the same E_{Ce}. The CO₂ production was obtained by the Oxisols, the treatments with and without organic matter, was in T40 and T41, referring to treatments with the highest E_{Ce} in the absence and presence of organic matter, respectively; on the CO₂ production rate, salinity not affected and, in the presence of organic material, the treatments showed higher values than the control. In Inceptisols, CO₂ production increases in the presence of organic matter, but decreases with increasing salinity, whose effect was also observed for the CO₂ production rate. So, there was a difference in salt tolerance between soils, although the addition of organic matter has improved microbial activity in different salinities.

Keywords: Respirometry. Soil Microbiology. Organic Matter.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Solo Latossolo Vermelho Eutrófico (inferior) e Cambissolo Háplico (superior) salinizados e dispostos em recipientes plásticos..... | 22 |
| Figura 2. Secagem do solo após salinização com diferentes CE (condutividade elétrica) | 23 |
| Figura 3. Distribuição de 100 g de solo em frascos de vidro (unidade amostral) | 24 |
| Figura 4. Distribuição de 60 unidades amostrais (frascos com solo) e 3 frascos sem solo, todos com 20 mL de NaOH 0,5 M em vidros hermeticamente fechados..... | 25 |
| Figura 5. Quantificação do CO ₂ através da solução de NaOH 0,5 M e sua quantificação por titulação com HCl | 25 |
| Figura 6. Produção de CO ₂ (mg kg ⁻¹) em função do tempo, para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha. | 30 |
| Figura 7. Taxa de produção de CO ₂ para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha | 33 |
| Figura 8. Superfície de resposta para a produção de CO ₂ em função da variável matéria orgânica (MO) e a CE (condutividade elétrica) medida na pasta de saturação do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte | 34 |
| Figura 9. Produção de CO ₂ (mg kg ⁻¹) em função do tempo, para o solo Cambissolo Háplico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha | 37 |
| Figura 10. Taxa de produção de CO ₂ para o solo Cambissolo Háplico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria | |

orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha 38

Figura 11. Superfície de resposta para a produção de CO₂ em função da variável matéria orgânica (MO) e a CE (condutividade elétrica) medida na pasta de saturação do solo Cambissolo Háplico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte 39

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Classificação química dos solos, Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) e Cambissolo Háplico (CX), coletados respectivamente, nas regiões agrícolas de Mata Fresca e de Baraúna, Rio Grande do Norte, 2015 | 22 |
| Tabela 2. Condutividade elétrica no estrato de saturação (CEes) do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) e Cambissolo Háplico (CX) após a salinização - mistura de água destilada com concentrações de 0%, 2,5%, 5%, 10% e 15% de água do mar (v/v) | 23 |
| Tabela 3. Produção de CO ₂ máxima estimada (CO ₂ max) (mg kg ⁻¹); parâmetros do modelo (α e n); coeficiente de determinação (R ²); tempo para produzir 50% do CO ₂ max (t.CO ₂ 50%) (dias); tempo para produzir a maior taxa de CO ₂ max (t.TCO ₂ max) (dias) e; maior taxa de produção de CO ₂ (TCO ₂ max) (mg kg ⁻¹ dia ⁻¹), para todos os tratamentos do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) | 29 |
| Tabela 4. Produção de CO ₂ máxima estimada (CO ₂ max) (mg kg ⁻¹); parâmetros do modelo (α e n); coeficiente de determinação (R ²); tempo para produzir 50% do CO ₂ max (t.CO ₂ 50%) (dias); tempo para produzir a maior taxa de CO ₂ max (t.TCO ₂ max) (dias) e; maior taxa de produção de CO ₂ (TCO ₂ max) (mg kg ⁻¹ dia ⁻¹), para todos os tratamentos do solo Cambissolo Háplico (CX)..... | 35 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 11 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 3.1. SOLOS SALINOS | 12 |
| 3.2. SOLOS SALINOS E A ATIVIDADE MICROBIANA | 13 |
| 3.2.1. Mudança na Comunidade Microbiana..... | 15 |
| 3.2.2. Decomposição da Matéria Orgânica..... | 16 |
| 3.3. RECUPERAÇÃO DOS SOLOS SALINOS E DA ATIVIDADE MICROBIANA | 18 |
| 3.4. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA..... | 19 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 21 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 21 |
| 4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS | 21 |
| 4.3. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA..... | 24 |
| 4.4. ANÁLISE DOS DADOS | 26 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5.1. SOLO LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO (LVE) | 28 |
| 5.2. SOLO CAMBISSOLO HÁPLICO (CX) | 34 |
| 6. CONCLUSÕES | 40 |
| REFERÊNCIAS | 41 |
| APÊNDICE | 46 |

1. INTRODUÇÃO

A salinidade é um processo cada vez mais preocupante de degradação do solo e uma ameaça às comunidades microbianas, que ocorre devido a, principalmente, dois fatores: solos salinos impedem a liberação de compostos solúveis em água e restringem a capacidade metabólica dos microrganismos. Esses fatores são resultantes do decréscimo do potencial da água do meio ambiente circundante, o qual dificulta a extração do substrato para a biodegradação. A ação de decomposição, por sua vez, faz aumentar a taxa respiratória da microbiota, a qual indica uma alta atividade biológica. Contudo, devido às dificuldades encontradas pelos microrganismos nos solos salinos, essa atividade tende a diminuir.

Os microrganismos são os principais condutores de todos os ciclos biogeoquímicos, processo natural que recicla os elementos em diferentes formas químicas e possibilita que outros organismos utilizem, sobrevivam e cresçam. Isto significa que processos microbianos mediados nos solos são fundamentais para as funções ecológicas e, portanto, qualquer redução na atividade microbiana é de particular preocupação. Isto justifica a preocupação com os microrganismos e com a manutenção de suas atividades, especialmente nas áreas degradadas pelo acúmulo de sais. Buscam-se, pois, alternativas que auxiliem no aumento da atividade nestas condições de salinidade.

Para isso, a recuperação dos solos salinos pode ser uma alternativa, já que a salinidade se apresenta como fator que inibe a atividade microbiana. Para recuperá-los, utiliza-se o processo de dessalinização, como também a adição de material orgânico ao solo. Isto porque o efeito da salinidade é contrabalançado com a entrada de matéria orgânica, ou seja, a matéria orgânica melhora a qualidade do solo e neutraliza os efeitos negativos dos sais aos microrganismos. Portanto, tais práticas sugerem uma maior eficiência no aumento da atividade microbiana nos solos salinizados.

Apesar da importância do assunto, a atividade microbiológica em ambientes salinos é pouco conhecida, pois, sobre salinidade, a maioria dos estudos se relaciona com os efeitos da salinidade no crescimento das plantas, na química e nas propriedades físicas do solo (RATH e ROUSK, 2015). Deste modo, há a necessidade de mais estudos, justificando, assim, o desenvolvimento da presente pesquisa.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo avaliar a atividade microbiana em solos de áreas agrícolas do estado do Rio Grande do Norte, em função da salinidade, na presença e na ausência de matéria orgânica.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Avaliar a tolerância dos microrganismos à salinidade de acordo com o tipo de solo;
- b) Avaliar o efeito da matéria orgânica na atividade dos microrganismos, nas diferentes salinidades e em cada tipo de solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. SOLOS SALINOS

A ocorrência de solos salinos é comum nas regiões áridas e semiáridas em razão da baixa precipitação pluvial e da alta taxa de evaporação (BEZERRA *et al.*, 2010). Alguns solos se apresentam salinizados independentemente da ação do homem, ou seja, são salinos por natureza (BEZERRA *et al.*, 2010), em consequência, principalmente, do intemperismo mineral, da precipitação atmosférica e dos sais fósseis (remanescentes dos ambientes marinhos e lacustres) (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Em contrapartida, a salinização dos solos pode resultar do uso incorreto de técnicas agrícolas, como adubação e irrigação excessivas e, com elas, intensificar a problemática (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009). Isso ocorre porque a água do lençol freático sobe e os sais dissolvidos nela alcançam e se acumulam na superfície do solo por meio do movimento capilar (RIETZ e HAYNES, 2003). Adicionado a esses fatores, solos que apresentam problemas de drenagem podem acelerar ainda mais o processo de salinização (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009).

Um solo é descrito salino quando a CE (condutividade elétrica) medida na pasta de saturação é maior do que 4 dS m^{-1} , como também, quando a PST (porcentagem de sódio trocável) é menor que 15% e o pH (potencial hidrogeniônico) é menor que 8,5 (BOHN *et al.*, 2001). Os sais presentes no solo, por sua vez, são *compostos iônicos* constituídos de um número igual de ânions e de cátions, os quais se ligam através da atração eletrostática. A maioria desses sais é facilmente solúvel em água - nos solos, a água contém uma variedade de íons dissolvidos, como: Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- e SO_4^{2-} , resultando na presença de íons em solução e, então, quando o conteúdo da água diminui, os íons dissolvidos se tornam mais concentrados no solo. A salinização é, portanto, um termo usado para o acúmulo de sais, que oscila ao longo do tempo devido, tal como, por exemplo, a diluição em períodos de chuva, a transpiração e a evaporação sob os efeitos do vento e da radiação solar (RATH e ROUSK, 2015).

Em razão de suas características, solo salino é uma problemática, visto que, cátions monovalentes - como Na^+ - e cátions polivalentes - como Ca^{2+} - presentes na solução do solo podem se ligar às partículas de argila carregadas negativamente e a compostos orgânicos (OADES, 1984) que, então, fazem aumentar a adsorção de

partículas de matéria orgânica no solo (MAVI e MARSCHNER, 2012), dificultando a decomposição pelos microrganismos (OADES, 1984).

3.2. SOLOS SALINOS E A ATIVIDADE MICROBIANA

Quando o nível de salinidade no solo é elevado, uma porção significativa do substrato se torna mais difícil à extração para a oxidação microbiana. Isto implica dizer que a dinâmica da matéria orgânica, dos ciclos biogeoquímicos e a nutrição das plantas serão prejudicadas, pelo motivo de, como se sabe, os materiais orgânicos adicionados ao solo deverem ser decompostos para que todos os ciclos biogeoquímicos continuem ocorrendo no ambiente (RATH e ROUSK, 2015). Solos salinos, contudo, não dificultam apenas a extração de matéria orgânica à decomposição, mas também constituem fator que inibe a taxa de respiração, pois, nessas condições, a capacidade metabólica se encontra restrita (WICHERN *et al.*, 2006). Ou seja, solos salinos prejudicam a atividade microbiana pela baixa capacidade de extração de matéria orgânica - que depende ainda da sua solubilidade no meio ambiente -, como também pelo efeito negativo direto da salinidade sobre ela (RATH e ROUSK, 2015).

Na realização da decomposição da matéria orgânica, os microrganismos apresentam taxa respiratória elevada - indicando alta atividade biológica (WICHERN *et al.*, 2006; BEZERRA *et al.*, 2010). Apesar da ineficiente atividade nos solos salinos, há um elevado gasto de energia por parte dos microrganismos nos mecanismos de ajustes internos ao aumento da concentração de sais no ambiente, pois, nesta situação, a osmolaridade fora da célula aumenta e a microbiota tenta, com os ajustes internos, não perder água (WICHERN *et al.*, 2006).

A fim de manter a turgescência celular e evitar a desidração microbiana, observa-se acumulação ou produção de solutos no citoplasma como mecanismos de adaptação (RATH e ROUSK, 2015) - aqui, a desvantagem é o desvio de energia para a sobrevivência em vez de utilizá-la nos mecanismos de crescimento (SCHIMEL *et al.*, 2007). Killham (1994), em seus estudos, descreve duas principais estratégias de adaptação dos microrganismos ao estresse osmótico. A primeira estratégia é excluir seletivamente o soluto incorporado (por exemplo, Na^+ e Cl^-) e, assim, acumular outros íons necessários ao seu metabolismo (como o NH_4^+). No entanto, isto requer adaptações de enzimas intracelulares à elevada concentração de íons no citoplasma, para manter uma boa atividade e conformação das proteínas às altas concentrações de sais no

citoplasma. A segunda estratégia, e a mais difundida, é a produção de compostos orgânicos (aminoácidos e hidratos de carbono) no interior da célula que antagonizam o gradiente de concentração entre a solução do solo e do citoplasma celular (KILLHAM, 1994). Exemplos de adaptação são encontrados nos estudos de Wichern *et al.* (2006) e Trabelsi *et al.* (2010). No trabalho de Wichern *et al.* (2006) indícios adaptativos foram indicados pela mineralização da microbiota de solos salinos, mesmo em condições salinas mais altas. De modo semelhante, o trabalho de Trabelsi *et al.* (2010) documenta que a nível de estirpes bacterianas, em cultura pré-expostas aos sais, houve um aumento na tolerância à salinidade. Killham (1994) acrescenta ainda que os microrganismos respondem ao aumento da pressão osmótica mudando sua fisiologia e morfologia, estratégias estas observadas em fungos filamentosos (KILLHAM, 1994) e bactérias (ZAHARAN, 1997), os quais demonstraram maior tolerância.

Tais informações revelam que a microbiota do solo tem a capacidade de se adaptar ou de tolerar o estresse osmótico causado pela salinidade - demonstrando a sua tendência em lidar com as mudanças ambientais e evitar a sua morte ou a sua inatividade (PLACELLA *et al.*, 2012). A referida adaptação, contudo, não ocorre de uma hora para outra. Sparling *et al.* (1989) reforçam que a adaptação ocorre quando os microrganismos são regularmente expostos às condições salinas. Talvez, por isso, a atividade microbiana responde de maneira diferente quando observada em solos originalmente não salinos; solos originalmente salinos; e, também, quando esses são expostos a diferentes salinidades.

Solos originalmente não salinos assumem comunidades que utilizam fontes de C (carbono) de forma mais eficiente do que as comunidades de solos salinos, visto que o menor teor de salinidade resulta em uma comunidade microbiana menos estressada e mais eficiente no uso de C como recurso, isto é, uma proporção maior de C presente no substrato é perdida na forma de CO₂ devido ao aumento da atividade respiratória (RIETZ e HAYNES, 2003). Estudos acrescentam que a atividade enzimática extracelular - utilizada para medir a atividade potencial no substrato em saturação - é maior nos solos naturalmente não salinos do que nos solos salinos (RIETZ e HAYNES, 2003; GHOLLARATA e RAIESI, 2007; SAVIOZZI *et al.*, 2011).

Asghar *et al.* (2012) e Yan e Marschner (2012) relataram que, independentemente da salinidade inicial, a respiração diminui com o aumento da salinidade. Então, mesmo na comunidade adaptada de solos salinos, a taxa de evolução de CO₂ reduz com o aumento da salinidade, mas, na comunidade de solos naturalmente

não salinos, a atividade microbiana é ainda mais prejudicada - com o aumento da salinidade -, pois, não adaptada, os microrganismos exibem respiração e biomassa menores (WICHERN *et al.*, 2006; ASGHAR *et al.*, 2012; YAN e MARSCHNER, 2012). Finalmente, a decomposição dos microrganismos, em condições salinas, é maior quando, os mesmos são previamente sujeitos à salinidade - resultado de um ajustamento ecofisiológico às condições ambientais (DILLY, 2001), justificando, assim, as constatações de comunidades de solos salinos serem mais bem adaptadas à alta salinidade do que as comunidades de solos não salinos, quando ambas expostas à salinidade (RATH e ROUSK, 2015).

3.2.1. Mudança na Comunidade Microbiana

Comunidade microbiana exposta aos sais, por sua vez, é acompanhada de mudanças sistemáticas na sua composição, pois organismos tolerantes são favorecidos, ao passo que a abundância das espécies mais sensíveis diminuirá (RATH e ROUSK, 2015). Assim, geralmente, solos salinos abrigam, taxonomicamente, diversos grupos microbianos halotolerante que exibem características fisiológicas e estruturais modificadas pelas condições de salinidade (RIETZ e HAYNES, 2003). Essa comunidade mais tolerante apresenta melhor eficiência na alocação de recursos para o crescimento microbiano, na transformação e na utilização do C (RATH e ROUSK, 2015).

De acordo com Sardinha *et al.* (2003), fungos tendem a ser mais sensíveis do que as bactérias, e, por isso, quando expostos a condições salinas por longos períodos, a diversidade fúngica diminui (VAN BRUGGEN e SEMENOV, 2000). A modificação no sentido de uma comunidade ser dominada por bactérias em solos salinos é devido a um efeito negativo sobre os fungos, embora esse efeito ainda não seja claro (RATH e ROUSK, 2015). Uma possibilidade é que a salinidade pode diminuir a biomassa fúngica indiretamente através da redução da vegetação e, assim, da entrada de fonte de energia importante para os fungos (SARDINHA *et al.*, 2003). Adicionalmente, a salinização pode ainda afetar as membranas celulares dos fungos. Portanto, ao longo de um gradiente de salinidade vertical no solo, observam-se mudanças na composição de fungos (MOHAMED e MARTINY, 2011) e uma diferenciação espacial nas bactérias, estas dominando a superfície do substrato, onde a salinidade se encontra mais elevada (WICHERN *et al.*, 2006).

A mudança na estrutura da comunidade microbiana dominada por bactéria em locais salinos é indicada pela forte diminuição do teor de ergosterol (SARDINHA *et al.*, 2003). Sardinha *et al.* (2003) verificou que no local com menor teor de sais, os fungos representaram 90% da biomassa microbiana e, no local com teor mais alto de sais, representaram apenas 17%. De forma inversa, no local com menor teor de sais a biomassa das bactérias foi de 10% e, no de maior teor de sais, 83%. No trabalho de Wichern *et al.* (2006), verificou-se que a adição de palha de milho aumentou o teor de ergosterol substancialmente, significando que a biomassa microbiana estava dominada por fungos.

3.2.2. Decomposição da Matéria Orgânica

Quando um material orgânico é adicionado ao solo, os microrganismos realizam sua decomposição, a qual pode ocorrer de forma rápida se houver fatores propícios, como: umidade, pH, temperatura, mas principalmente nutrientes e cadeias de carbono que são fontes de energia (SEVERINO *et al.*, 2004).

Os microrganismos, por sua vez, variam nas suas exigências nutricionais e na sua capacidade de usar os diversos substratos (SEVERINO *et al.*, 2004), pois a diversidade bioquímica dos substratos disponíveis no ambiente indica que os microrganismos devem possuir um amplo espectro de enzimas extracelulares para convertê-los em metabolitos (produtos do metabolismo) assimiláveis (TAUK, 1990). Ou seja, a complexidade física e química dos resíduos orgânicos desfavorece a ocorrência de um processo de degradação biologicamente simples. É por isso que, no solo, observa-se uma decomposição que, geralmente, se inicia com o material lábil e, posteriormente, em um processo mais lento, com os materiais mais resistentes (TAUK, 1990). Severino *et al.* (2004) relatam que materiais orgânicos com alta concentração de carbono, mas pouco nitrogênio, ou seja, alta relação C/N, são mineralizados mais lentamente, ao passo que a baixa relação C/N indica maior taxa de decomposição dos resíduos orgânicos. Assim, dependendo do material orgânico disponível aos microrganismos, sua decomposição pode ser mais lenta ou mais rápida, embora a velocidade de degradação dependa também do tipo de microrganismo decompositor (TAUK, 1990).

Tauk, (1990) enfatizando os aspectos microbianos da degradação, observou que, geralmente, a degradação de substrato complexo, folhas, tecidos microbianos mortos ou

exoesqueletos de insetos processam mais rapidamente na presença de uma comunidade microbiana do que na presença de uma única população. Neste estudo, a velocidade de decomposição variou em diferentes substratos, como: 84% de ácido benzóico decomposto após 28 semanas; 81% de ácido pirúvico após 12 semanas; 26% de catecol após 28 semanas e 69% de ácido fenóico também após 28 semanas. O trabalho de Severino *et al.* (2004), por conseguinte, teve como objetivo estudar a mineralização da torta de mamona, cultivada no Estado do Ceará, através da técnica de medição da respiração microbiana e compará-la com esterco bovino e com bagaço de cana, dois materiais orgânicos frequentemente utilizados como adubo. Nos resultados apresentados, observaram os autores que a mineralização da torta de mamona ocorreu de forma mais intensa que a dos outros dois materiais orgânicos - o que permitiu que a liberação dos nutrientes da torta ocorresse mais rapidamente. Esta rápida decomposição foi justificada pelos altos teores de nitrogênio, fósforo e potássio presentes na torta, além das ótimas condições de umidade, aeração e temperatura (em torno de 28°C), submetidas à atividade microbiana.

A decomposição da matéria orgânica é, portanto, um processo complexo e multifacetado, que envolve importantes variáveis, e um grande número e variedade de microrganismos do solo. Sendo assim, pode-se concluir que os microrganismos são agentes de transformação, pois, neles, passam os materiais orgânicos adicionados ao solo. Para a realização da decomposição da matéria orgânica, a microbiota apresenta taxa respiratória elevada, ou seja, há transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis às plantas - o que muitas vezes é uma característica buscada em adubo orgânico (SEVERINO *et al.*, 2004).

Quando se observa a variável salinidade na decomposição da matéria orgânica, nota-se que esta é reduzida, já que, como se sabe, a salinidade interfere na atividade microbiana. Isto pode ser explicado pelo baixo teor de água que impede a liberação de compostos solúveis em água - redução da espessura da película de água circundante nos agregados, a qual inibe o transporte difusivo do substrato para os microrganismos - nos solos salinos (SETIA e MARSCHNER, 2013). Ou seja, a respiração acumulada diminui com o decréscimo do potencial da água do meio circundante. Para compensar isso, os microrganismos se utilizam das estratégias adaptativas, como a síntese e o acúmulo de osmólitos para reter água dentro da célula. Com as estratégias adaptativas, a microbiota aumenta a ação de decomposição do material orgânico que, por sua vez, é fonte de

energia, inclusive para os mecanismos de adaptação, fazendo, então, aumentar a tolerância ao baixo potencial da água (SETIA e MARSCHNER, 2013).

Essas informações comprovam, mais uma vez, o forte impacto negativo da salinidade sobre a atividade microbiana e, conseqüentemente, na decomposição de matéria orgânica (RATH e ROUSK, 2015).

3.3. RECUPERAÇÃO DOS SOLOS SALINOS E DA ATIVIDADE MICROBIANA

Nos diversos ramos da sociedade é crescente a conscientização sobre a qualidade ambiental, resultante da constatação humana da necessidade de preservação do meio ambiente. Todos os componentes do meio ambiente são singulares, no entanto, com base no que foi mencionado até o momento, não é difícil deduzir que a salinização é um dos indicadores de degradação ambiental e que a diversidade microbiana está relacionada com a qualidade do solo (SANTOS *et al.*, 2011). A redução na atividade microbiana é de particular preocupação ecológica e, portanto, sua avaliação em solos salinos é de grande relevância (RIETZ e HAYNES, 2003). Por isso a atenção sobre os processos que auxiliem na recuperação dos solos salinos e, conseqüentemente, na atividade dos microrganismos.

O processo de recuperação de solos salinos consiste basicamente na adição de água ao solo em uma quantidade suficiente para lixiviar o excesso de sais solúveis do perfil (HANS *et al.*, 1997). No processo de dessalinização, o alto teor inicial de sais cai gradualmente no tempo, em função da quantidade de água aplicada, numa relação aproximadamente exponencial (BLANCO e FOLEGATTI, 2001). Apesar da eficiência dessa técnica na redução dos sais no solo, esta mostra desvantagens pelo grande volume de água necessário para a recuperação, embora a quantidade de água a ser aplicada e o tempo de recuperação, dependam, ainda, da consideração de fatores como: salinidade inicial do solo, qualidade da água de irrigação, profundidade do solo a ser recuperada, técnicas de irrigação utilizadas e textura do solo (BLANCO e FOLEGATTI, 2001).

De qualquer modo, Hans *et al.* (1997) mencionam duas finalidades para a técnica de dessalinização. A primeira, lavagem de recuperação, tem como finalidade reduzir as concentrações de sais da solução do solo para níveis suficientemente baixos de forma a eliminar ou minimizar o efeito da salinidade na vegetação. A segunda, lavagem de manutenção, consiste em impedir a ressalinização dos solos recuperados ou prever a salinização de solos irrigados não afetados.

Uma questão interessante é saber como as comunidades microbianas se desenvolvem após o estresse salino ser removido e se elas retornam a uma comunidade com uso eficiente de C. Sobre isto, tudo indica que os microrganismos têm um elevado grau de resiliência (RATH e ROUSK, 2015). Yan e Marschner (2012) constataram que, independentemente da salinidade original, a respiração e a biomassa são capazes de se recuperar rapidamente após a correção da salinidade dos solos com o processo de lixiviação.

Além da alternativa de dessalinização, estudos demonstram que a adição de material orgânico promove a redução do efeito negativo da salinidade sobre a atividade dos microrganismos. Isto porque o efeito da salinidade é contrabalançado com a entrada, mesmo que baixa, da matéria orgânica (RIETZ e HAYNES, 2003; WICHERN *et al.*, 2006). Ou seja, a matéria orgânica faz melhorar a qualidade do solo em condições salinas e neutraliza os efeitos negativos dos sais que, conseqüentemente, favorece os microrganismos do solo com a disponibilidade de substrato, possibilitando-os lidar mais facilmente com a salinidade (WICHERN *et al.*, 2006).

Wichern *et al.* (2006), objetivando analisar a resposta das comunidades microbianas à adição de palha de milho em um solo salino, notaram que esse substrato fez aumentar o teor de biomassa microbiana substancialmente. Silva Júnior *et al.* (2009), de modo semelhante, perceberam em seu trabalho que a quantidade de C-mineralizado no solo, incubado por 30 dias, aumentou em função da adubação com pó de coco seco e vermicomposto em relação ao solo não adubado - independentemente do nível de salinidade aplicado a cada tratamento. Silva Júnior *et al.* (2009) explicam que o resultado do estudo feito ocorreu em razão, principalmente, da incorporação de matéria orgânica e nutriente ao solo. Logo, ambos os trabalhos confirmam e ressaltam a contribuição positiva da adição do aporte de resíduos orgânicos na atividade microbiana em solos afetados por sais.

3.4. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA

Um indicativo indireto da atividade microbiana é a taxa respiratória, a qual vem sendo a técnica mais frequentemente utilizada para quantificar a atividade geral da biomassa dos microrganismos (BEZERRA *et al.*, 2010). O método da taxa respiratória é conhecido como respirômetro de Bartha ou respirometria. Este determina a quantidade de carbono liberado na forma de CO₂ - produção de C-CO₂ ou C-mineralizável -

resultante da decomposição da matéria orgânica pela comunidade microbiana quimiorganotrófica aeróbia do solo (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009). Tal procedimento é padronizado pela norma brasileira NBR 14283 (ABNT,1999) e permite verificar se algum elemento está comprometendo a atividade microbiana, a partir do seu objetivo principal, que é medir o quanto de C está sendo respirado pela microbiota do solo em um determinado período de tempo.

O respirômetro de Bartha é um sistema fechado, constituído por um equipamento relativamente simples que apresenta duas câmaras interligadas. Em uma das câmaras é inserido o solo juntamente com os microrganismos (nativos ou introduzidos) responsáveis pela degradação e produção do gás carbônico. Este, por sua vez, é transferido para a segunda câmara, onde se dissolve na solução de hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH). A cada medição, a solução hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio deve ser removida e titulada com HCl (ácido clorídrico). A partir disso, demonstra-se o comportamento da atividade microbiana. Durante o procedimento da titulação, ocorre a oxigenação forçada do sistema por meio de uma bomba de aquário, o ar inserido passa por um filtro de cal sodada, com o objetivo de absorver o CO₂ e permite a inserção, apenas, de O₂ para atividade metabólica dos microrganismos (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

A avaliação da atividade microbiana pelo respirômetro de Bartha é possível porque o CO₂ resultante da biodegradação reage com KOH, no interior do respirômetro, formando K₂CO₃. Quando o K₂CO₃ e o excesso de KOH é adicionada à solução de BaCl₂, ocorre reação do K₂CO₃ e do BaCl₂, formando o precipitado BaCO₃, que sequestra o carbonato e garante que o HCl reaja apenas com o KOH excedente, permitindo o cálculo da quantidade de CO₂ produzida. O mesmo ocorre com o NaOH (MELLO *et al.*, 2007). Esta avaliação pode ser realizada em laboratório ou em campo e é, geralmente, simples, barata e fácil de ser feita (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida com solos coletados em duas regiões onde ocorre a prática da agricultura irrigada, uma na localidade de Mata Fresca e outra na localidade de Baraúna, ambas pertencentes ao estado do Rio Grande do Norte. Segundo a classificação de Köppen, o clima dessas regiões é do tipo BSw'h, o qual indica um ambiente quente e seco, com temperatura média anual de 27,4°C e umidade relativa média de 68,9%, apresentando, ainda, estação chuvosa no verão e precipitação pluviométrica anual bastante irregular, com média de 673,9 mm (CARMO FILHO e OLIVEIRA, 1995). O solo de Mata Fresca é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) e o de Baraúna como Cambissolo Háptico (CX), de acordo com a classificação do solo da EMBRAPA (2006). A caracterização química desses solos, conforme a EMBRAPA (1999), está apresentado na Tabela 1.

4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS

Os solos coletados foram encaminhados para o Núcleo de Estudos Ambientais, localizado no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte, onde foram dispostos a secagem em temperatura ambiente e, quando secos, peneirados a uma malha de 2 mm. Para a salinização dos solos, uma mistura de água destilada com as concentrações de 0%, 2,5%, 5%, 10% e 15% de água do mar (v/v) foram feitas. A condutividade elétrica da água do mar utilizada, medida no laboratório, foi de aproximadamente 54 dS m⁻¹. A salinização procedeu-se em recipiente plástico, onde, na medida em que se adicionava solo, acrescentava-se água do mar diluída - cada solo foi salinizado com cada uma das cinco porcentagens de diluição da água do mar - até sua saturação. Ainda nos recipientes plásticos, esperou-se, aproximadamente, duas semanas para a evaporação da água (Figura 1), objetivando com isso, não perder os sais adicionados. Após este período, os solos salinizados foram dispostos em uma bancada para sua completa secagem (Figura 2).

Tabela 1. Classificação química dos solos, Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) e Cambissolo Háplico (CX), coletados respectivamente, nas regiões agrícolas de Mata Fresca e de Baraúna, Rio Grande do Norte, 2015.

| | LVE | CX |
|--|-------|-------|
| pH (água) | 7,60 | 7,10 |
| CEes | 1,15 | 0,51 |
| Matéria Orgânica (g kg ⁻¹) | 2,07 | 10,24 |
| P (mg dm ⁻³) | 143,6 | 8,2 |
| K ⁺ (mg dm ⁻³) | 89,3 | 135,1 |
| Na ⁺ (mg dm ⁻³) | 77,3 | 54,5 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 3,00 | 5,50 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,70 | 1,60 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,00 | 0,00 |
| (H+Al) (cmol _c dm ⁻³) | 0,00 | 0,00 |
| SB (cmol _c dm ⁻³) | 4,26 | 7,68 |
| t (cmol _c dm ⁻³) | 4,26 | 7,68 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) | 4,26 | 7,68 |
| V | 100 | 100 |



Figura 1. Solo Latossolo Vermelho Eutrófico (inferior) e Cambissolo Háplico (superior) salinizados e dispostos em recipientes plásticos.



Figura 2. Secagem do solo após salinização com diferentes CE (condutividade elétrica).

A condutividade elétrica no estrato de saturação (CEes) dos solos LVE e CX salinizados nas cinco percentagem de diluição da água do mar, foi obtida através da pasta de saturação, de acordo com a Embrapa (1999). Os resultados obtidos da CEes e utilizados neste trabalho estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Condutividade elétrica no estrato de saturação (CEes) do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) e Cambissolo Háptico (CX) após a salinização - mistura de água destilada com concentrações de 0%, 2,5%, 5%, 10% e 15% de água do mar (v/v).

| | 0% | 2,5% | 5% | 10% | 15% |
|-----|--------------------------------|------|------|------|------|
| | ----- dS m ⁻¹ ----- | | | | |
| LVE | 1,15 | 1,60 | 3,31 | 4,65 | 8,25 |
| CX | 0,51 | 1,90 | 2,62 | 3,48 | 5,59 |

De cada solo salinizado nas diferentes percentagens de diluição, foi retirada uma amostra de 600 g e, esta, distribuída em 6 (seis) frascos de vidro (100 g em cada um deles) (Figura 3). Desses 6 (seis) frascos, 3 (três) foram enriquecidos com 2% de matéria orgânica (presença de matéria orgânica) (p/p) e os outros 3 (três) não receberam matéria orgânica (ausência de matéria orgânica). O material orgânico utilizado foi produto da compostagem (restos vegetais), produzido no viveiro municipal da Prefeitura de Mossoró, Rio Grande do Norte.



Figura 3. Distribuição de 100 g de solo em frascos de vidro (unidade amostral).

Os solos foram distribuídos em frascos hermeticamente fechados, organizados em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) e arranjados em esquema fatorial 2 x 5 x 2, referentes aos 2 (dois) solos, às 5 (cinco) CEes e às 2 (duas) doses de matéria orgânica (presença e ausência). Cada tratamento foi testado em triplicata, totalizando, desta forma, 60 (sessenta) unidades amostrais.

4.3. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA

A avaliação da atividade microbiana foi determinada de forma indireta, de acordo com a Norma Especifica do Método Respirométrico de Bartha (ABNT, 1999) adaptada, que quantifica o índice de biodegradação da matéria orgânica, ou seja, a quantidade de gás carbônico (CO₂) produzida, em condições padronizadas, pelos microrganismos do solo. Aqui, o procedimento experimental foi complementado com uma prova em branco, ou seja, frasco sem solo, com 3 (três) repetições (Figura 4).



Figura 4. Distribuição de 60 unidades amostrais (frascos com solo) e 3 frascos sem solo, todos com 20 mL de NaOH 0,5 M em vidros hermeticamente fechados.

Na avaliação da atividade microbiana, o CO_2 liberado foi quantificado pela sua captura na amostra de solo em uma solução com 20 mL de NaOH 0,5 M e sua quantificação por titulação com HCl (ácido clorídrico), utilizando solução indicadora Fenolftaleína 1% (Figura 5).



Figura 5. Quantificação do CO_2 através da solução de NaOH 0,5 M e sua quantificação por titulação com HCl.

Com o valor de HCl gasto, foi possível quantificar a produção de C-CO₂ liberado por grama de solo seco, através da metodologia de Stotzky (1965):

$$C-CO_2 (\text{mg kg}^{-1} \text{ solo}) = (B-T) \times \text{eq} \times M \times 10$$

Onde, B é o volume (mL) da solução de HCl gasto para titular a prova em branco; T é o volume (mL) da solução de HCl 1 M gasto para titular os tratamentos; eq é o equivalente-grama do C, que é 6; M é a molaridade da solução padronizada de HCl 1 M e 10 é o fator de conversão para quilograma de solo.

A equação acima foi aplicada em cada unidade amostral avaliada. A avaliação foi realizada quinzenalmente (total de 133 dias de experimento), período em que os valores de CO₂ se estabilizaram. A cada análise, o solo nos frascos era revolvido e, para manter a umidade, uma quantidade de água destilada era adicionada. Diariamente, a temperatura foi anotada, obtendo uma média da temperatura mínima e máxima de 28,0°C e 34,0°C, respectivamente.

4.4. ANÁLISE DOS DADOS

No presente trabalho foi feita a análise de regressão para a produção de CO₂, em diferentes condutividades elétricas e, na presença e ausência de matéria orgânica em função do tempo de incubação. Para avaliar a produção de CO₂ em função do tempo, foi ajustado o modelo proposto por Maia *et al.* (2009), de acordo com a equação 1, em que, CO₂ e CO_{2max} é a porcentagem de produção de CO₂ no tempo t e a máxima produção estimada, respectivamente; α e n são parâmetros do modelo ajustados pela metodologia de regressão não linear, com α em dia-1 e n é o fator de forma e adimensional.

$$CO_2 = CO_{2max} \frac{CO_{2max}}{1 + (\alpha \cdot T)^n} \quad (1)$$

A taxa de produção de CO₂ absoluta (TCO₂) foi estimada pela equação 2. O tempo para a produção de TCO₂ máxima (T.TCO_{2max}) e para a produção de CO₂ em

50% da máxima ($T.CO_250\%$) e, a taxa de produção de CO_2 absoluta máxima ($T.CO_2max$), foram calculados pelas equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$TCO_2 = \frac{CO_{2max} \cdot n \cdot \alpha^n \cdot T^{n-1}}{[1 + (\alpha \cdot T)^n]^2} \quad (2)$$

$$T.TCO_{2max} = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{n-1}{n+1} \right]^{1/n} \quad (3)$$

$$T.CO_250\% = \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

$$TCO_{2max} = \frac{CO_{2max} \cdot \alpha^n \cdot (n+1)^2}{4 \cdot n} \cdot (T.TCO_{2max})^{n-1} \quad (5)$$

Foi feita também a superfície de resposta da produção de CO_2 em função da CE e matéria orgânica, usando o modelo $CO_2 = \beta_0 + \beta_1 MO + \beta_2 CE$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. SOLO LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO (LVE)

Para o LVE, observou-se que, para a mesma CEs, a produção de CO₂max foi sempre maior nos tratamentos com adição de matéria orgânica do que na sua ausência (Tabela 3). Isto provavelmente ocorreu porque há mais resíduos orgânicos para serem decompostos e, conseqüentemente, mais matéria orgânica para produzir CO₂. Silva Júnior *et al.* (2009) perceberam o mesmo quando observaram que, independentemente do nível de salinidade aplicado a cada tratamento, a quantidade de C-mineralizado no solo incubado aumentou em função da adubação com pó de coco seco e vermicomposto em relação ao solo não adubado.

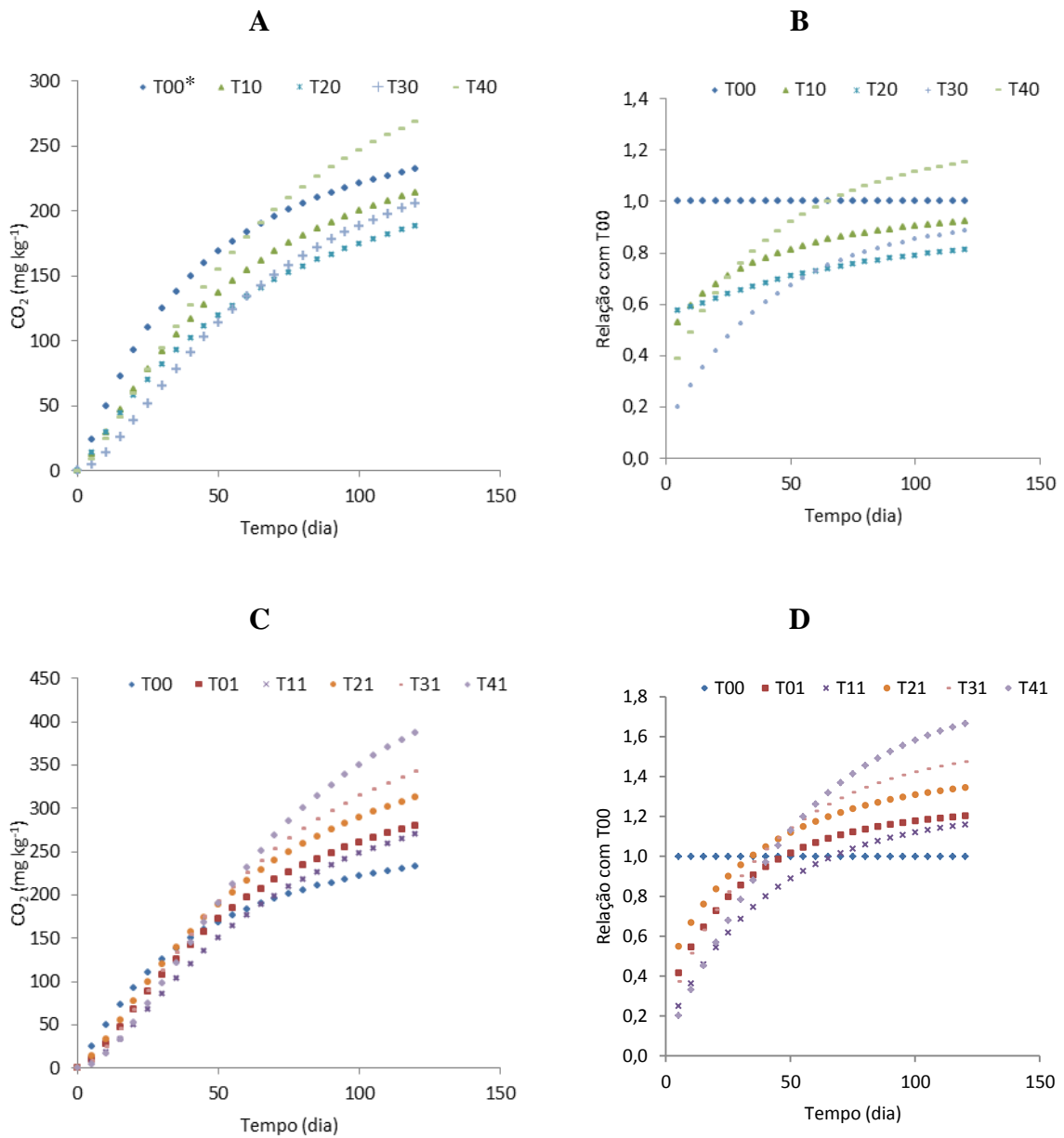
No que se refere ao tempo para produzir 50% da produção máxima de CO₂ (t.CO₂50%), a testemunha (T00) demandou menor tempo (39 dias, aproximadamente) (Tabela 3). A testemunha, por não ter recebido influência da salinidade, apresenta comunidade mais eficiente no uso de C como recurso (RIETZ e HAYNES, 2003). Isto explica os altos valores da atividade microbiana em T00 em relação aos tratamentos sem matéria orgânica, como também sua menor demanda no t.CO₂50% e sua maior taxa respiratória (TCO₂max) observada nos primeiros dias de experimento (Tabela 3). Contudo, Carvalho (2005) concluiu que na medida em que determinada biomassa microbiana se torna eficiente, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração e uma fração maior de C é incorporada à biomassa microbiana. A conclusão de Carvalho justifica os valores baixos da produção de CO₂ em T01 - tratamento não salinizado e com material orgânico -, em relação aos tratamentos com matéria orgânica (Tabela 3), ou seja, a baixa produção de CO₂ foi possivelmente devido à incorporação de C à biomassa microbiana quando na sua atividade, inclusive porque as condições, de salinidade e de matéria orgânica, estavam propícias para isso.

Tabela 3. Produção de CO₂ máxima estimada (CO₂max) (mg kg⁻¹); parâmetros do modelo (α e n); coeficiente de determinação (R²); tempo para produzir 50% do CO₂max (t.CO₂50%) (dias); tempo para produzir a maior taxa de CO₂max (t.TCO₂max) (dias) e; maior taxa de produção de CO₂ (TCO₂max) (mg kg⁻¹ dia⁻¹), para todos os tratamentos do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE).

| | T00* | T01 | T10 | T11 | T20 | T21 | T30 | T31 | T40 | T41 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CO ₂ max | 294,61 | 365,30 | 293,40 | 362,01 | 283,57 | 432,68 | 280,95 | 470,02 | 378,71 | 535,33 |
| A | 0,0257 | 0,0185 | 0,0181 | 0,0162 | 0,0152 | 0,0167 | 0,0157 | 0,0158 | 0,0155 | 0,0143 |
| N | 1,17 | 1,49 | 1,28 | 1,62 | 1,14 | 1,39 | 1,58 | 1,55 | 1,43 | 1,77 |
| R ² | 0,9819 | 0,9734 | 0,9630 | 0,9607 | 0,9458 | 0,9731 | 0,9587 | 0,9710 | 0,9566 | 0,9538 |
| t.CO ₂ 50% | 38,95 | 54,15 | 55,23 | 61,85 | 65,99 | 60,04 | 63,76 | 63,27 | 64,34 | 69,81 |
| t.TCO ₂ max | 4,45 | 18,20 | 10,75 | 25,27 | 6,27 | 16,10 | 24,95 | 23,39 | 19,26 | 33,94 |
| TCO ₂ max | 5,25 | 4,11 | 3,41 | 3,57 | 3,07 | 4,46 | 2,68 | 4,52 | 3,61 | 4,76 |

*Tij - sendo 'i' as CEes (1,15; 1,60; 3,31; 4,65; 8,25 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

A Figura 6 ilustra as informações da Tabela 3 e demonstra que, para os tratamento sem matéria orgânica, o tratamento T40 obteve a maior atividade microbiana com 378,71 mg kg⁻¹, seguida do T00, T10, T20 e T30 (Figura 6A). Na presença de matéria orgânica, a maior produção de CO₂ foi em T41 com 535,33 mg kg⁻¹, e menor em T11 com 362,01 mg kg⁻¹ (Figura 6C). Logo, a maior produção de CO₂ foi encontrada nos tratamentos com a maior CEes, sem e com matéria orgânica, resultado contrário aos achados por Asghar *et al.* (2012) e Yan e Marschner (2012), nos quais a atividade microbiana do solo foi negativamente afetada pela salinidade. No presente estudo, o resultado pode ser explicado devido à influência da matéria orgânica do próprio solo e da incorporação feita *in loco* com produtos orgânicos e restos vegetais, visto que este solo foi coletado em uma região agrícola de Mata Fresca onde se desenvolve a atividade meloeira, localidade que, possivelmente, apresenta conteúdo orgânico com baixa relação C/N, destarte, material lábil que contribui para a maior decomposição dos resíduos orgânicos. Silva Júnior *et al.* (2009) verificaram que, quando o solo foi incubado com pó de coco seco, houve um aumento significativo na produção de CO₂ com o aumento da salinidade. Isto significa que a introdução de matéria orgânica minimizou os efeitos negativos da salinidade sobre a comunidade microbiana e, por isso, a mineralização, mesmo em altas condições salinas (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009).



*Tij - sendo 'i' as CEes (1,15; 1,60; 3,31; 4,65; 8,25 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

Figura 6. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹) em função do tempo, para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha.

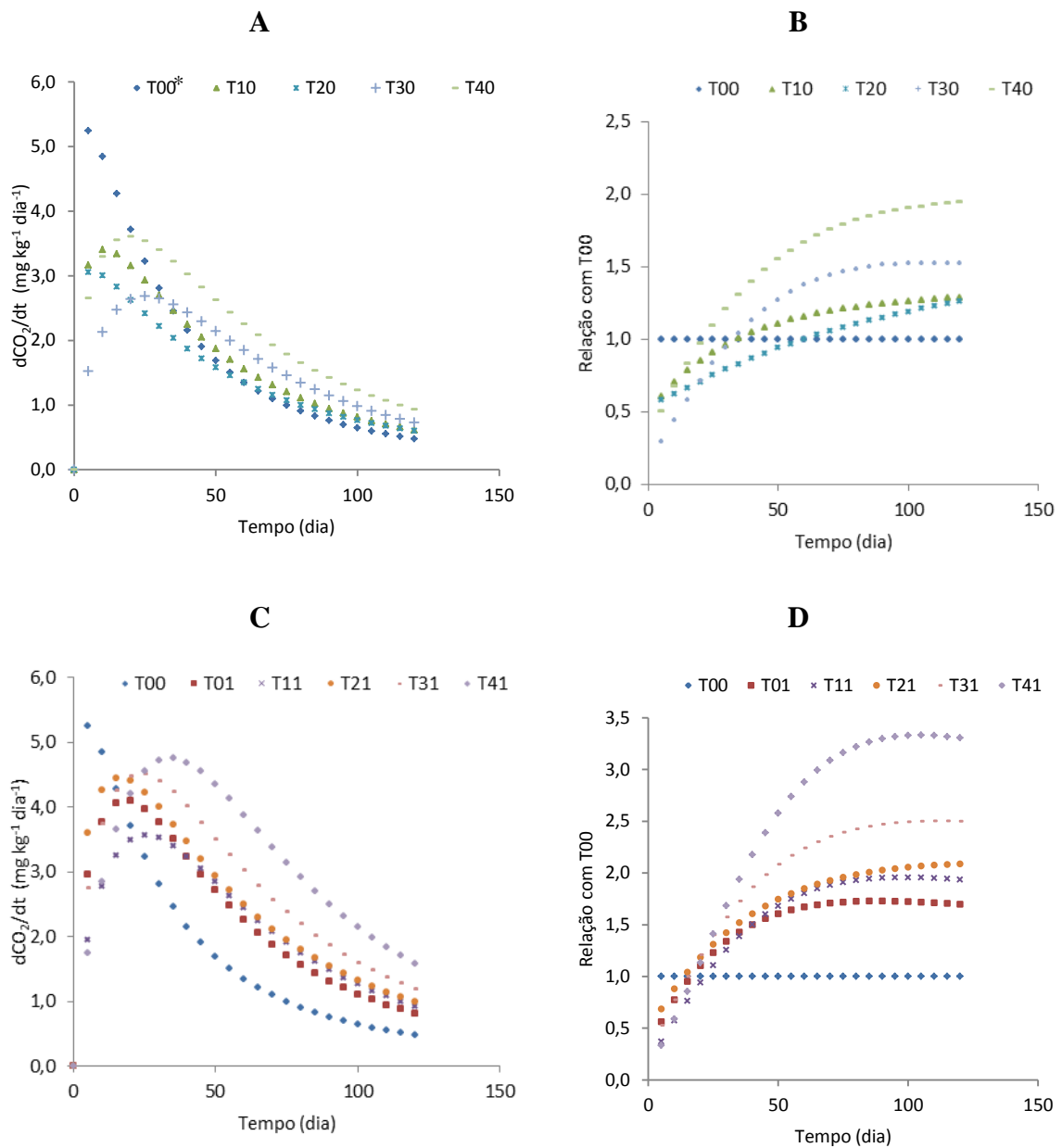
Adicionalmente, no tempo, pode ter ocorrido o aumento da biomassa que, por sua vez, contribui para aumento da atividade microbiana - isto é sugerido inclusive porque T40 e T41 demandaram mais dias para t.CO₂50%. Wichern *et al.* (2006) verificaram que o aumento da biomassa microbiana ocorre com a adição de matéria orgânica, pois, como aludido, esta reduz o efeito adverso da salinidade.

Na região agrícola de Mata Fresca, a irrigação é realizada com água de poço, cuja captação é feita do Calcário Jandaíra. Não obstante, esta água apresenta variações na CE, no tempo e no espaço. Segundo Medeiros (1992) e Oliveira e Maia (1998) as águas do aquífero calcário apresentam concentrações de sais relativamente elevadas, podendo ser superior a 3,0 dS m⁻¹. Medeiros *et al.* (2003), por sua vez, relataram que a CE em Mata Fresca é de 1,77 ± 0,08 dS m⁻¹. Na época de estiagem, período em que o presente estudo foi desenvolvido, fatores como temperatura e evapotranspiração elevadas possivelmente contribuíram para que os níveis de sais aumentassem, ainda mais em uma região com influência da irrigação. Devido a essas condições, sugere-se adaptação da microbiota local à salinidade, motivo pelo qual os microrganismos permaneceram ativos mesmo quando expostos a alta salinização e, portanto, a alta produção de CO₂. A permanência da atividade dos microrganismos também pode ser devido à alta diversidade genética, cujos genótipos são capazes de se adaptar às altas concentrações de sais (SETIA e MARSCHNER, 2013).

A Figura 6B faz a comparação da produção de CO₂ dos tratamentos sem matéria orgânica com a testemunha. Nesta, nota-se que a produção de CO₂ ficou, em todos os tratamentos, abaixo da testemunha - exceto o T40 que, após determinado tempo, aproximadamente 55 dias, manteve sua atividade acima. Assim, apesar desse resultado, a Figura 6B indica que a salinidade afetou a produção de CO₂. A Figura 6D faz a mesma comparação, contudo, na presença de matéria orgânica. Aqui, verifica-se que, com a adição do material orgânico e em diferentes tempos, a produção de CO₂ de todos os tratamentos foi maior que a da testemunha, indicando que o efeito negativo da salinidade foi inibido com a presença de matéria orgânica e, por isso, as maiores atividades microbianas nesses tratamentos em relação à testemunha. Ou seja, houve contribuição positiva do aporte dos resíduos para a atividade microbiana em condições de solos afetados por sais (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009).

Wichern *et al.* (2006) dispostos a estudar o impacto da salinidade na microbiota do solo - incubou amostras coletadas em dois diferentes locais de Heringen na Alemanha, com ou sem incorporação de palha de milho e com três níveis de salinidade (0, 15, 50 mg NaCl g de solo) durante sete semanas -, observaram que a salinidade teve efeito prejudicial aos microrganismos, mas que a adição da palha de milho contribuiu para a melhoria da qualidade do solo em condições de salinidade. Chang *et al.* (2007) obtiveram resultado semelhante quando mencionou que o conteúdo de matéria orgânica pode amenizar os efeitos adversos dos sais solúveis.

Sobre o ponto de maior taxa de produção de CO₂, este pode ser verificado com a relação dos valores da TCO₂max e do t.TCO₂max (Tabela 3). A Figura 7A e C demonstram a taxa de produção de CO₂ para os tratamentos sem e com matéria orgânica, respectivamente. Observa-se nestas que a taxa de produção de CO₂ por dia decaiu no tempo, embora a produção continue. Na ausência de material orgânico, o maior valor obtido foi na testemunha com 5,25 mg kg⁻¹ dia⁻¹ aos 4 dias (Figura 7A) e, na presença de matéria orgânica, o maior valor foi em T41 com 4,76 mg kg⁻¹ dia⁻¹ aos 34 dias, aproximadamente (Figura 7C). A Figura 7B, por sua vez, sugere que a salinidade não afetou a taxa de produção de CO₂, pois, nota-se que em diferentes tempos a atividade microbiana, para os tratamentos sem matéria orgânica, obteve valores maiores que a testemunha. A Figura 7D teve comportamento semelhante, visto que em aproximadamente 15 dias a atividade, em todos os tratamentos com matéria orgânica, ultrapassou o resultado da testemunha. Aqui, nota-se que a salinidade não afetou e, na presença de matéria orgânica, a taxa de produção de CO₂ foi superior, tanto em relação à testemunha como em relação à maioria dos tratamentos sem matéria orgânica na mesma salinidade. Estes resultados são explicados pelas influências mencionadas anteriormente.



*Tij - sendo 'i' as CEes (1,15; 1,60; 3,31; 4,65; 8,25 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

Figura 7. Taxa de produção de CO₂ para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha.

O resultado da superfície de resposta para o LVE foi uma relação linear positiva para as duas variáveis: matéria orgânica e condutividade elétrica. Isto significa que, quanto maior os valores da matéria orgânica e da salinidade, maiores foram os valores da produção de CO₂ (Figura 8). Tal resultado pode ser devido às influências mencionadas, como: material lábil advindo do próprio ambiente, suposto aumento da biomassa microbiana ao longo do experimento, adaptação e diversidade genética dos microrganismos, mesmo nas altas condições de salinidade.

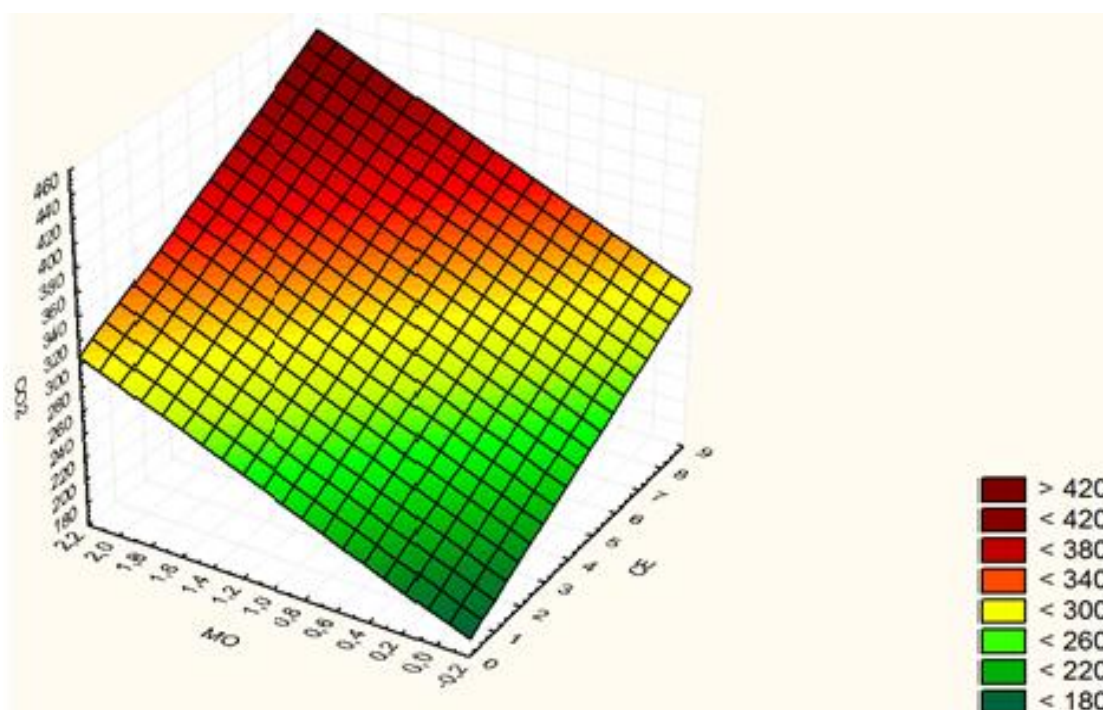


Figura 8. Superfície de resposta para a produção de CO₂ em função da variável matéria orgânica (MO) e a CE (condutividade elétrica) medida na pasta de saturação do solo Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE), coletado na região de Mata Fresca, Rio Grande do Norte.

5.2. SOLO CAMBISSOLO HÁPLICO (CX)

Para o CX verificou-se que a atividade microbiana teve comportamento semelhante ao LVE, pois, para mesma CEes, a produção de CO₂ foi sempre maior nos tratamentos com adição de matéria orgânica. No que se refere ao t.CO₂50%, T20 demandou maior tempo (67 dias), e T10 menor tempo (58 dias), embora os valores para t.CO₂50% tenham sido aproximadamente os mesmos para todos os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Produção de CO₂ máxima estimada (CO₂max) (mg kg⁻¹); parâmetros do modelo (α e n); coeficiente de determinação (R²); tempo para produzir 50% do CO₂max (t.CO₂50%) (dias); tempo para produzir a maior taxa de CO₂max (t.TCO₂max) (dias) e; maior taxa de produção de CO₂ (TCO₂max) (mg kg⁻¹ dia⁻¹), para todos os tratamentos do solo Cambissolo Háplico (CX).

| | T00* | T01 | T10 | T11 | T20 | T21 | T30 | T31 | T40 | T41 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CO ₂ max | 441,85 | 476,30 | 359,69 | 504,81 | 424,85 | 449,75 | 344,13 | 530,46 | 351,39 | 470,31 |
| α | 0,0160 | 0,0163 | 0,0172 | 0,0159 | 0,0150 | 0,0166 | 0,0164 | 0,0157 | 0,0153 | 0,0156 |
| n | 1,21 | 1,46 | 1,37 | 1,33 | 1,35 | 1,69 | 1,39 | 1,33 | 1,22 | 1,35 |
| R ² | 0,9621 | 0,9616 | 0,9640 | 0,9674 | 0,9635 | 0,9640 | 0,9515 | 0,9663 | 0,9581 | 0,9635 |
| t.CO ₂ 50% | 62,43 | 61,28 | 58,18 | 62,80 | 66,77 | 60,36 | 61,04 | 63,85 | 65,42 | 64,25 |
| t.TCO ₂ max | 8,98 | 19,37 | 14,99 | 14,50 | 16,46 | 26,90 | 16,59 | 14,55 | 9,83 | 15,57 |
| TCO ₂ Max | 4,74 | 4,75 | 3,84 | 5,05 | 3,97 | 4,57 | 3,48 | 5,23 | 3,58 | 4,57 |

*Tij - sendo 'i' as cinco CEes (0,51; 1,90; 2,62; 3,48 e 5,59 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

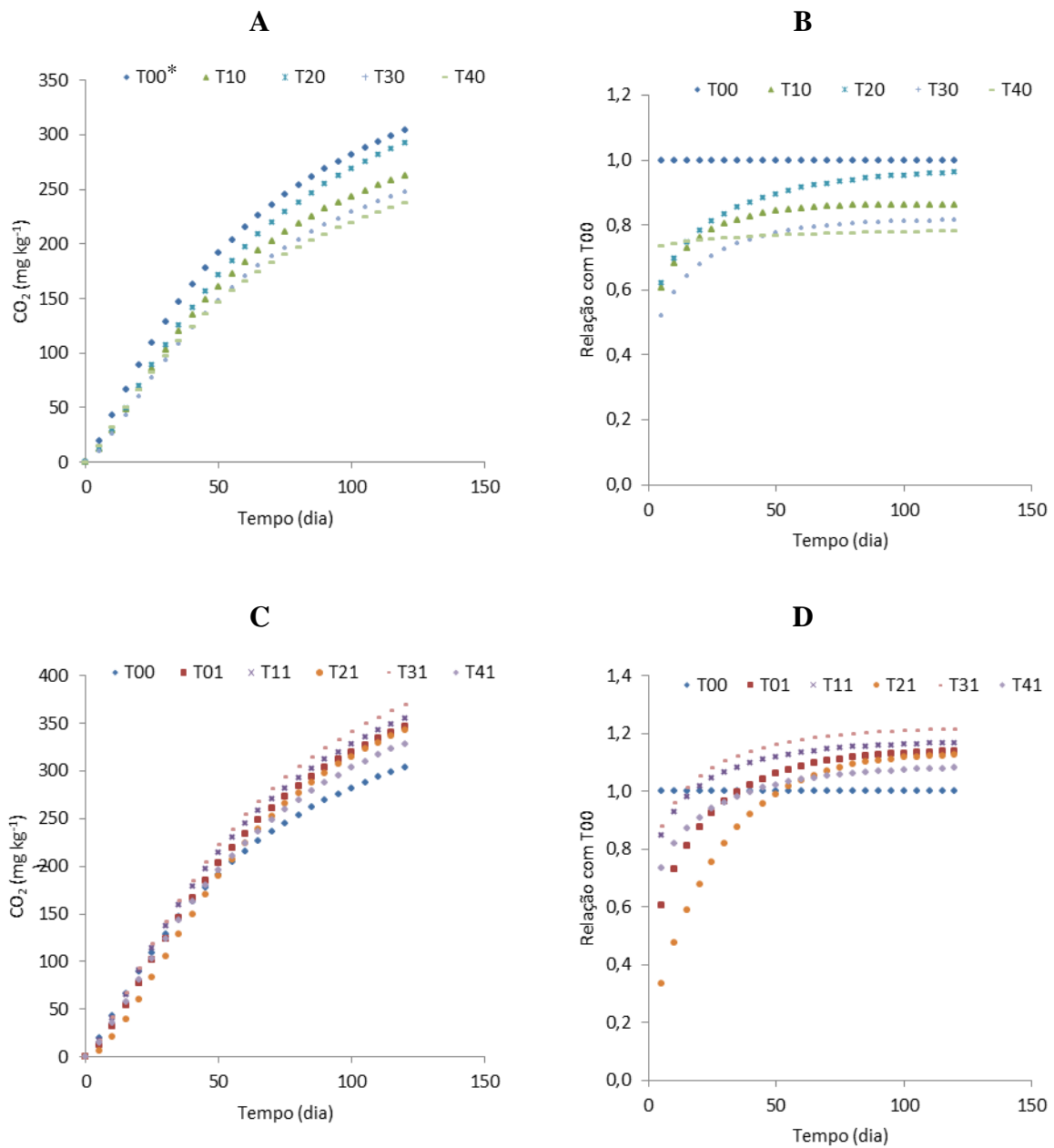
A Figura 9 demonstra que a maior produção de CO₂ foi encontrada na testemunha com 441,85 mg kg⁻¹ e menor em T30 com 344,13 mg kg⁻¹, para os tratamentos sem adição de material orgânico (Figura 9A). Nota-se, com isto, a influência negativa da salinidade na produção de CO₂, e, por conseguinte, semelhança nos resultados encontrados por Asghar *et al.* (2012) e Yan e Marschner (2012), nos quais a atividade microbiana foi negativamente afetada pela salinidade. A influência negativa incide porque, no ambiente, quando a concentração de sais aumenta, há uma diminuição do potencial da água que faz reduzir a absorção de nutrientes pela microbiota (SETIA e MARSCHNER, 2013). Isto sucede em efeitos negativos sobre o tamanho e a atividade da biomassa e, conseqüentemente, nos processos bioquímicos essenciais para a manutenção e quantidade de matéria orgânica no solo (RIETZ e HAYNES, 2003) - especialmente quando os microrganismos não possuem mecanismos adaptativos.

Solos da classe Cambissolo possuem características morfológicas similares às da classe Latossolo, mas distinguem-se destes por apresentarem, no horizonte B, uma ou mais características não compatíveis com solos muito evoluídos (EMBRAPA, 2006). Assim, embora a análise do solo (Tabela 1) tenha descrito quantidades maiores de matéria orgânica no CX (10,24 g kg⁻¹) do que no LVE (2,07 g kg⁻¹), esse pode ser menos lábil. O material menos lábil é justificado pela alta quantidade de P (fósforo) no CX (Tabela 1). O fósforo utilizado pelos microrganismos aumenta a atividade

microbiana, pois favorece e estimula a biodegradação (ZHOU e CRAWFORD, 1995). Decorrente do substrato menos lábil, os microrganismos são menos ativos *in situ* (Asghar *et al.*, 2012). Asghar *et al.* (2012) concluíram que, quando o substrato é menos lábil, a microbiota não desenvolve os mecanismos adaptativos e, portanto, quando submetidos a situações de salinidade a atividade microbiana diminui.

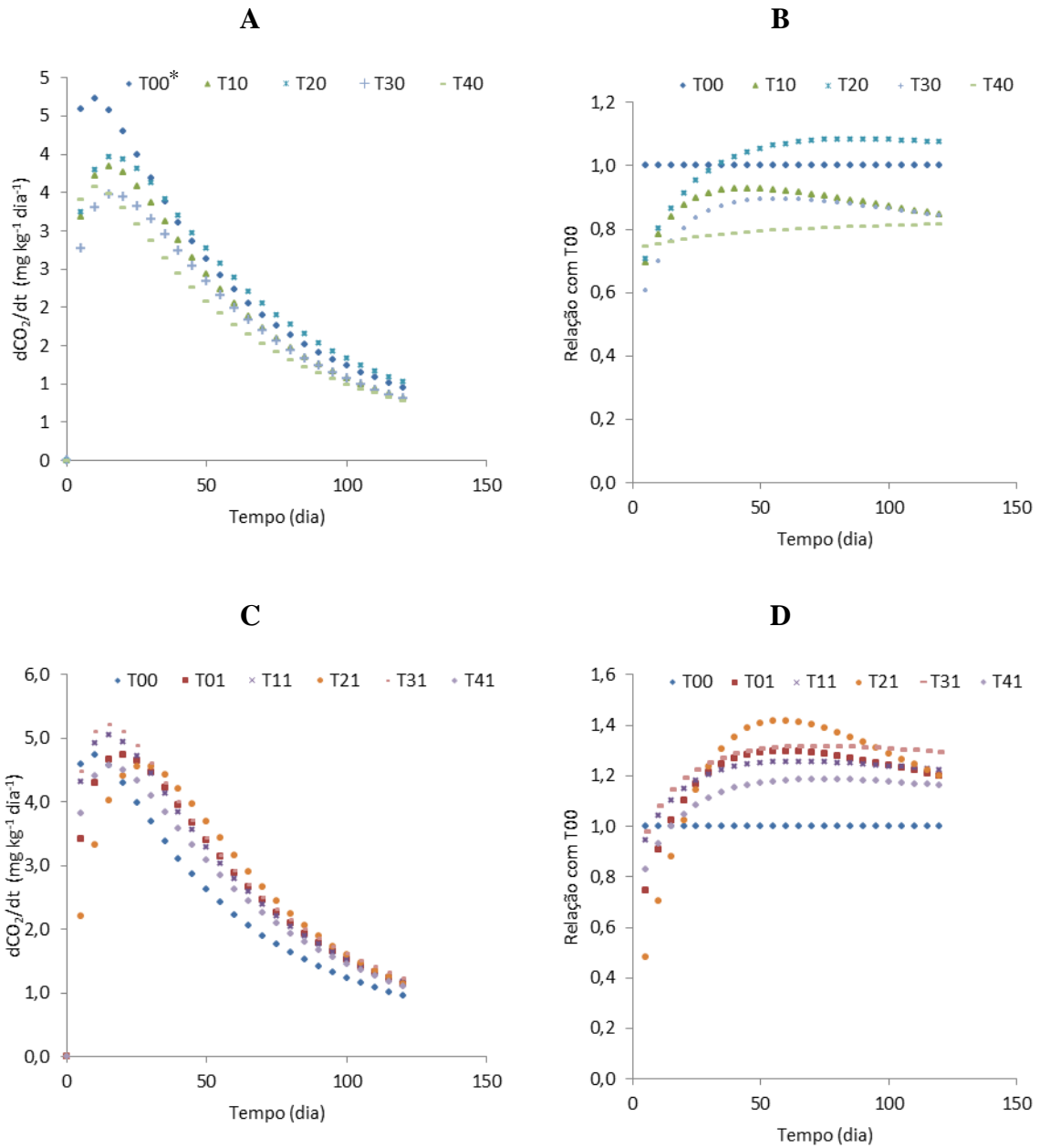
Na presença de matéria orgânica, a maior produção de CO₂ foi em T31 com 530,46 mg kg⁻¹ e menor produção em T21 com 449,75 mg kg⁻¹ (Figura 9C), sugerindo uma contribuição positiva da matéria orgânica adicionada, possivelmente porque as partículas incorporadas nesses tratamentos apresentam decomposição mais rápida, ainda mais quando se tem quantidade de P favoráveis para isto. Ainda na Figura 9, verifica-se que, comparados com a testemunha, os tratamentos sem matéria orgânica obtiveram produção de CO₂ menor (Figura 9B) e, com matéria orgânica, maior produção de CO₂ (Figura 9D), resultados semelhantes ao LVE.

Sobre a taxa de produção de CO₂, o ponto de maior taxa foi na testemunha com 4,74 mg kg⁻¹ dia⁻¹ aos 9 dias e menor em T30 com 3,48 mg kg⁻¹ dia⁻¹ aos 17 dias, para os tratamentos sem adição de matéria orgânica (Figura 10A). Na presença desta, o T31 obteve o maior valor com 5,23 mg kg⁻¹ dia⁻¹ aos 15 dias, sendo os menores valores observados nos tratamentos T21 e T41, ambos com 4,57 mg kg⁻¹ dia⁻¹ porém, o primeiro aos 27 dias e o segundo aos 16 dias, aproximadamente (Figura 10C). A resposta em curto um prazo (14 dias) dos microrganismos para o baixo potencial da água no solo, no trabalho de Setia e Marschner (2013), foi à redução da atividade por célula, porém não a sua morte. O mesmo pode ser sugerido para explicar aos valores da taxa de produção de CO₂ em T41, como também em T21. A influencia da salinidade, entretanto, pode matar os microrganismos sensíveis e diminuir a atividade da microbiota devido à carga metabólica imposta pelos mecanismos de ajustes internos à tolerância dos sais (WICHERN *et al.*, 2006). Na Figura 10B, observa-se que, exceto T20, os demais tratamentos, na ausência de matéria orgânica, apresentaram taxa de produção de CO₂ menor que a testemunha e, portanto, foi negativamente afetada pela salinidade. Em T20 fatores como diversidade genética, resistência aos sais pode ser o motivo da alta taxa de produção de CO₂ em relação à testemunha. A taxa de produção de CO₂, em tempos diferentes, de todos os tratamentos com matéria orgânica, atingiu valores maiores que a testemunha (Figura 10D), observando mais uma vez a contribuição positiva da matéria orgânica adicionada.



*T_{ij} - sendo 'i' as cinco CEes (0,51; 1,90; 2,62; 3,48 e 5,59 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

Figura 9. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹) em função do tempo, para o solo Cambissolo Háplico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha.



*T_{ij} - sendo 'i' as cinco CEes (0,51; 1,90; 2,62; 3,48 e 5,59 dS m⁻¹ representadas por 0, 1, 2, 3 e 4, respectivamente) e 'j' matéria orgânica, presença (1) e ausência (0).

Figura 10. Taxa de produção de CO₂ para o solo Cambissolo Háplico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte: (A) sem matéria orgânica; (B) sem matéria orgânica, relacionados com a testemunha; (C) com matéria orgânica; (D) com matéria orgânica, relacionados com a testemunha.

Para o CX o resultado da superfície de resposta foi uma relação linear, porém, positiva para a variável matéria orgânica e negativa para a condutividade elétrica do solo. Assim, a presença do material orgânico fez aumentar a atividade microbiana, mas, quanto maior a salinidade menor a produção de CO₂ (Figura 11). Esse resultado confirma a contribuição positiva da adição do aporte de resíduos orgânicos, visto que essa adição promoveu a redução do efeito negativo da salinidade sobre a atividade dos microrganismos. Sobre a salinidade, seu efeito negativo acontece porque a comunidade de solos naturalmente não salinos é prejudicada com o aumento da salinidade e, não adaptada, exibe dificuldade na extração de matéria orgânica para a decomposição (RIETZ e HAYNES, 2003) e, portanto, baixa taxa respiratória. Observa-se, deste modo, a diferença na tolerância dos microrganismos à salinidade dos solos LVE e CX que pode ser decorrente da influência de diversos fatores, como: características físico-químicas do solo, interferências antrópicas e diferenças na comunidade microbiana.

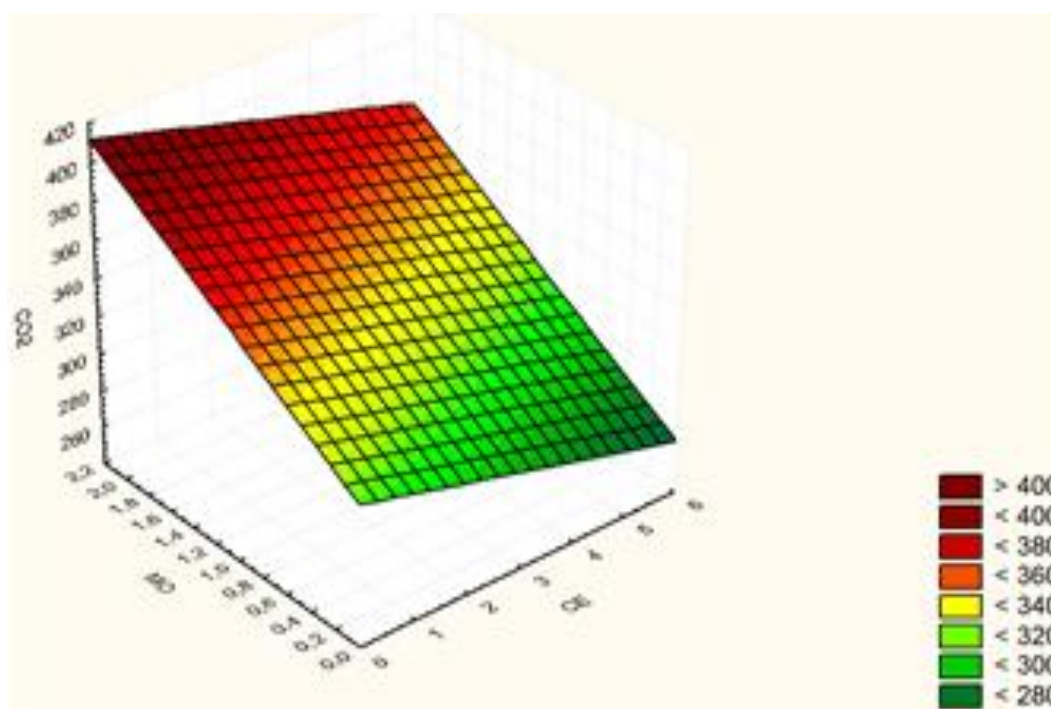


Figura 11. Superfície de resposta para a produção de CO₂ em função da variável matéria orgânica (MO) e a CE (condutividade elétrica) medida na pasta de saturação do solo Cambissolo Háptico (CX), coletado na região de Baraúna, Rio Grande do Norte.

6. CONCLUSÕES

A atividade microbiana dos solos LVE e CX apresentaram comportamentos diferentes quanto à salinidade. Os microrganismos do solo da região de Mata Fresca demonstraram ser mais tolerantes à salinidade em relação à microbiota do solo da região de Baraúna. Contudo, a adição da matéria orgânica em ambos os solos, reduz o efeito negativo da salinidade sobre a atividade dos microrganismos independente da concentração de sais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ASGHAR, H. N. *et al.* Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 47, p. 175-178, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 14283 *Resíduos em solo – Determinação da biodegradação pelo método respirométrico*, 1999.

BEZERRA, M. E. J. *et al.* Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 562-570, 2010.

BLANCO, F. F; FOLEGATTI, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.76-80, 2001.

BOHN, H. L. *et al.* Soil chemistry. 3 ed. Mishawaka: John Wiley & Sons, 2001. 307p.

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. Mossoró: um município do semiárido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995. 62 p. Coleção Mossoroense, série B.

CARVALHO, F. de. Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. Piracicaba, 2005. 79p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

CHANG, E.H.; CHUNG, R.S.; TSAI, Y.H. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 132-140, 2007.

DILLY, O. Metabolic and anabolic responses of arable and forest soils to nutrient addition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, p. 29-34, 2001.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GHOLLARATA, M., RAIESI, F. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 1699-1702, 2007.

HANS, R. G. *et al.* Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: simpósio “manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”. Campina Grande: UFPB, 1997. 383 p.

KILLHAM, K. Soil Ecology. Cambridge University Press: Cambridge, 1994. 264 p.

MAIA, C. E. *et al.* Crescimento do meloeiro Orange Fresh em função do preparo do solo e construção do camalhão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n.1, p. 41-47, 2009.

MAVI, M. S; MARSCHNER, P. Drying and wetting in saline and saline-sodic soil effects on microbial activity, biomass and dissolved organic carbon. **Plant and Soil**, v. 355, p. 51-62, 2012.

MEDEIROS, F. J. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande, 1992. 173p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, 1992.

MEDEIROS, J. F. *et al.* Caracterização das águas subterrâneas usadas para a irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.

MELLO, G. S. L. *et al.* Viabilidade da aplicação do método respirométrico de Bartha para determinação da biodegradação de poluentes ou resíduos em latossolos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 71-78, 2007.

MOHAMED, D. J.; MARTINY, J.B.H. Patterns of fungal diversity and composition along a salinity gradient. **The ISME Journal**, v. 5, p. 379-388, 2011.

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

OLIVEIRA, O.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 17-21, 1998.

PLACELLA, S. A. *et al.* Rainfall-induced carbon dioxide pulses from sequential resuscitation of phylogenetically clustered microbial groups. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 109, p. 10931-10936, 2012.

RATH, K. M.; ROUSK, J. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 81, p. 108-123, 2015.

RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 845-854, 2003.

SANTOS, K. C. F. *et al.* Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 619-627, 2011.

SARDINHA, M. *et al.* Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 23, p. 237-244, 2003.

SAVIOZZI, A. Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, p. 358-367, 2011.

SCHIMEL, J. *et al.* Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. **Ecology**, v. 88, p. 1386-1394, 2007.

SETIA, R; MARSCHNER, P. Carbon mineralization in saline soils as affected by residue composition and water potential. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 71-77, 2013.

SEVERINO, L. S. *et al.* Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, p. 0, 2004.

SILVA JÚNIOR, J. M. T. *et al.* Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 378-382, 2009.

SPARLING, G. P. *et al.* Influence of soil moisture regime on the respiration response of soils subjected to osmotic stress. **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, p. 161-168, 1989.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2. p.1151-1572.

TAUK, S. M. Biodegradação de Resíduos Orgânicos no Solo. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 20, n. 1-4, p. 299-301, 1990.

TRABELSI, D. *et al.* Genetic diversity and salt tolerance of *Sinorhizobium* populations from two Tunisian soils. **Annals of Microbiology**, v. 60, p. 541-547, 2010.

VAN BRUGGEN, A. H. C., SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p.13-24, 2000.

WICHERN, J. *et al.* Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. **Geoderma**, v. 137, p. 100-108, 2006.

YAN, N.; MARSCHNER, P. Response of microbial activity and biomass to increasing salinity depends on the final salinity, not the original salinity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 53, p. 50-55, 2012.

ZAHRAN, H. H. Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, p. 211-223, 1997.

ZHOU, E.; CRAWFORD, R. L. Effects of oxygen, nitrogen and temperature on gasoline biodegradation in soil. **Biodegradation**, v. 6, p. 127-140, 1995.

APÊNDICE

Arquivo analisado:

H:\OrientacaoMestrado\Fernanda\AnovaCompleta.dbf

Variável analisada: CO2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-------------|---------------|------------------------|---------|--------|
| SOLO | 1 | 28185.736560 | 28185.736560 | 31.374 | 0.0000 |
| CE | 4 | 9348.157560 | 2337.039390 | 2.601 | 0.0512 |
| MO | 1 | 146706.282240 | 146706.282240 | 163.302 | 0.0000 |
| SOLO*CE | 4 | 37976.644440 | 9494.161110 | 10.568 | 0.0000 |
| SOLO*MO | 1 | 1832.200560 | 1832.200560 | 2.039 | 0.1614 |
| CE*MO | 4 | 15493.223160 | 3873.305790 | 4.311 | 0.0057 |
| SOLO*CE*MO | 4 | 6904.689240 | 1726.172310 | 1.921 | 0.1267 |
| REP | 2 | 1880.244120 | 940.122060 | 1.046 | 0.3611 |
| erro | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |
| Total corrigido | 59 | 282465.356160 | | | |
| CV (%) = | 9.50 | | | | |
| Média geral: | 315.4080000 | | Número de observações: | 60 | |

Teste Tukey para a FV SOLO

DMS: 15,6667105559671 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 30
Erro padrão: 5,47227287523682

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 1 | 293.734000 | a1 |
| 2 | 337.082000 | a2 |

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 35,0449207851079 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 12
Erro padrão: 8,65242313185339

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 1 | 298.630000 | a1 |
| 2 | 310.350000 | a1 a2 |
| 0 | 312.380000 | a1 a2 |
| 3 | 319.075000 | a1 a2 |
| 4 | 336.605000 | a2 |

Teste Tukey para a FV MO

DMS: 15,6667105559671 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 30
Erro padrão: 5,47227287523682

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 0 | 265.960000 | a1 |
| 1 | 364.856000 | a2 |

Análise do desdobramento de CE dentro de cada nível de:

SOLO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|------|----|----|--------------|--------------|--------|--------|
| CE | /1 | 4 | 40834.992720 | 10208.748180 | 11.364 | 0.0000 |
| CE | /2 | 4 | 6489.809280 | 1622.452320 | 1.806 | 0.1471 |
| Erro | | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |

Codificação usada para o desdobramento

cod. SOLO

1 = 1

2 = 2

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 49,5610022665904 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 12,2363741404578

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 1 | 260.860000 | a1 |
| 0 | 271.250000 | a1 |
| 2 | 272.980000 | a1 |
| 3 | 301.030000 | a1 |
| 4 | 362.550000 | a2 |

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 49,5610022665904 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 12,2363741404578

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 4 | 310.660000 | a1 |
| 1 | 336.400000 | a1 |
| 3 | 337.120000 | a1 |
| 2 | 347.720000 | a1 |
| 0 | 353.510000 | a1 |

Análise do desdobramento de MO dentro de cada nível de:

SOLO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|------|------|--------------|--------------|---------|--------|
| MO | /1 1 | 90664.220280 | 90664.220280 | 100.920 | 0.0000 |
| MO | /2 1 | 57874.262520 | 57874.262520 | 64.421 | 0.0000 |
| Erro | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |

Codificação usada para o desdobramento

cod. SOLO

1 = 1

2 = 2

Teste de Tukey para o desdobramento de MO dentro da codificação:

1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV MO

DMS: 22,1560745460224 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 15

Erro padrão: 7,73896251716632

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 0 | 238.760000 | a1 |
| 1 | 348.708000 | a2 |

Teste de Tukey para o desdobramento de MO dentro da codificação:

2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV MO

DMS: 22,1560745460224 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 15

Erro padrão: 7,73896251716632

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 0 | 293.160000 | a1 |
| 1 | 381.004000 | a2 |

Análise do desdobramento de CE dentro de cada nível de:

MO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|------|----|----|--------------|-------------|-------|--------|
| CE | /1 | 4 | 6290.892000 | 1572.723000 | 1.751 | 0.1584 |
| CE | /2 | 4 | 18550.488720 | 4637.622180 | 5.162 | 0.0020 |
| Erro | | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |

Codificação usada para o desdobramento

cod. MO

1 = 0

2 = 1

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 49,5610022665904 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 12,2363741404578

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 3 | 245.970000 | a1 |
| 1 | 256.050000 | a1 |
| 2 | 264.280000 | a1 |
| 4 | 276.790000 | a1 |
| 0 | 286.710000 | a1 |

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 49,5610022665904 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 12,2363741404578

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 0 | 338.050000 | a1 |
| 1 | 341.210000 | a1 |
| 2 | 356.420000 | a1 a2 |
| 3 | 392.180000 | a2 |
| 4 | 396.420000 | a2 |

Análise do desdobramento de CE dentro de cada nível de:

SOLO MO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|------|----|----|--------------|-------------|--------|--------|
| CE | /1 | 4 | 13449.645600 | 3362.411400 | 3.743 | 0.0114 |
| CE | /2 | 4 | 39860.783040 | 9965.195760 | 11.092 | 0.0000 |
| CE | /3 | 4 | 12638.935200 | 3159.733800 | 3.517 | 0.0153 |
| CE | /4 | 4 | 3773.350560 | 943.337640 | 1.050 | 0.3935 |
| Erro | | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |

Codificação usada para o desdobramento

cod. SOLO MO

1 = 1 0

2 = 1 1

3 = 2 0

4 = 2 1

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 2 | 204.280000 | a1 |
| 3 | 224.620000 | a1 a2 |
| 1 | 228.720000 | a1 a2 |
| 0 | 242.860000 | a1 a2 |
| 4 | 293.320000 | a2 |

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 1 | 293.000000 | a1 |
| 0 | 299.640000 | a1 |
| 2 | 341.680000 | a1 a2 |
| 3 | 377.440000 | a2 a3 |
| 4 | 431.780000 | a3 |

Teste de Tukey para o
desdobramento de CE dentro da codificação:

3

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 4 | 260.260000 | a1 |
| 3 | 267.320000 | a1 a2 |
| 1 | 283.380000 | a1 a2 |
| 2 | 324.280000 | a1 a2 |
| 0 | 330.560000 | a2 |

Teste de Tukey para o
desdobramento de CE dentro da codificação:

4

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 4 | 361.060000 | a1 |
| 2 | 371.160000 | a1 |
| 0 | 376.460000 | a1 |
| 1 | 389.420000 | a1 |
| 3 | 406.920000 | a1 |

Análise do desdobramento de CE dentro de cada nível de:

SOLO MO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|------|------|--------------|-------------|--------|--------|
| CE | /1 4 | 13449.645600 | 3362.411400 | 3.743 | 0.0114 |
| CE | /2 4 | 39860.783040 | 9965.195760 | 11.092 | 0.0000 |
| CE | /3 4 | 12638.935200 | 3159.733800 | 3.517 | 0.0153 |
| CE | /4 4 | 3773.350560 | 943.337640 | 1.050 | 0.3935 |
| Erro | 38 | 34138.178280 | 898.373113 | | |

Codificação usada para o desdobramento

cod. SOLO MO

1 = 1 0

2 = 1 1

3 = 2 0

4 = 2 1

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 2 | 204.280000 | a1 |
| 3 | 224.620000 | a1 a2 |
| 1 | 228.720000 | a1 a2 |
| 0 | 242.860000 | a1 a2 |
| 4 | 293.320000 | a2 |

Teste de Tukey para o

desdobramento de CE dentro da codificação:

2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 1 | 293.000000 | a1 |
| 0 | 299.640000 | a1 |
| 2 | 341.680000 | a1 a2 |
| 3 | 377.440000 | a2 a3 |
| 4 | 431.780000 | a3 |

Teste de Tukey para o
desdobramento de CE dentro da codificação:

3

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 4 | 260.260000 | a1 |
| 3 | 267.320000 | a1 a2 |
| 1 | 283.380000 | a1 a2 |
| 2 | 324.280000 | a1 a2 |
| 0 | 330.560000 | a2 |

Teste de Tukey para o
desdobramento de CE dentro da codificação:

4

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV CE

DMS: 70,0898415702158 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 17,3048462637068

| Tratamentos | Médias | Resultados do teste |
|-------------|------------|---------------------|
| 4 | 361.060000 | a1 |
| 2 | 371.160000 | a1 |
| 0 | 376.460000 | a1 |
| 1 | 389.420000 | a1 |
| 3 | 406.920000 | a1 |
