



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ANDREZZA GRASIELLY COSTA

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NA PRODUÇÃO DO
MANDACARU SEM ESPINHO (*Cereus hildmannianus* K. Schum) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

MOSSORÓ/RN

2017

ANDREZZA GRASIELLY COSTA

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NA PRODUÇÃO DO
MANDACARU SEM ESPINHO (*Cereus hildmannianus* K. Schum) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ/RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 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 de 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.

C837u Costa, Andrezza Grasielly.
UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NA
PRODUÇÃO DO MANDACARU SEM ESPINHO (*Cereus
hildmannianus* K. Schum) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO / Andrezza
Grasielly Costa. - 2017.
86 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2017.

1. Reúso. 2. Água Residuária Industrial. 3. Cactáceas. 4.
Forrageira. I. Batista, Rafael Oliveira, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANDREZZA GRASIELLY COSTA

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NA PRODUÇÃO DO
MANDACARU SEM ESPINHO (*Cereus hildmannianus* K. Schum) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

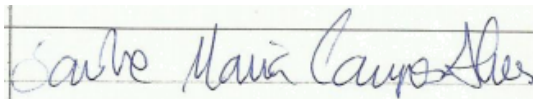
Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água

Defendida em: 17 / 02 / 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)
Presidente



Prof.ª Dra Sandra Maria Campos Alves (IFRN)
Membro Examinador



Dr. Raniere Barbosa de Lira (COOPERVIDA)
Membro Examinador

Ao meu eterno bisavô, avô e pai, **Francisco Rosendo Dantas** (*in memoriam*), que mesmo distante se faz presente em minha mente e coração.

A minha bisavó, **Maria Anita Dantas** (*in memoriam*), por todo seu amor.

A **Deus**, fonte inesgotável de inspiração, conhecimento e sabedoria.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor e consumidor da minha fé, que em sua infinita graça, misericórdia e amor, me deu sabedoria para transpor todos os obstáculos presentes ao longo desta jornada. A Ti toda glória, Senhor!

Ao meu pai, Antônio Andriê Costa, por toda colaboração, incentivo e amor em prol de um futuro profissional digno. Obrigada pai por todo auxílio prestado durante esses longos anos. Que eu possa corresponder de alguma forma todo amparo concedido.

A minha mãe, Geralda Maria da Silva, que sempre acreditou na capacidade de cada um dos seus filhos e nunca desistiu de lutar para que tivéssemos uma boa educação. Este é um dos frutos da sua colheita mãe, que eu possa retribuir todo o sacrifício realizado a meu favor.

Aos meus irmãos, Diego Maradona Costa e Andreia Gabrielly Costa, que tornaram a caminhada mais gratificante, com palavras e gestos que me incentivaram a prosseguir. Agradeço por todo apoio e incentivo. Vocês são essenciais, e com vocês compartilho essa dádiva.

Ao meu amado, Rodolfo de Azevedo Palhares, por ter tornado a caminhada mais leve. Deus em sua infinita misericórdia nos colocou lado a lado para vivermos o melhor de uma vida a dois. Com você aprendi a ser mais dedicada, compromissada e persistente. Agradeço por toda afetividade, cumplicidade e, principalmente, amor.

A minha segunda família, Lúcia Batista, João Batista, Francisco Antônio e Isaac Bruno, por todo aconchego, auxílio, receptividade, cuidado e amor.

Ao meu orientador, Rafael Oliveira Batista, por toda disponibilidade e assistência prestada. Exemplo de liderança, admirado por todos que tem a honra de conhecê-lo. Agradeço por toda credibilidade, confiança e apoio ao longo desta trajetória.

Meus respeitosos agradecimentos também pela participação dos membros da banca examinadora da defesa, por terem aceitado o convite, honrando-nos com as vossas presenças.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e a todos os docentes que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA). Bem como, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo auxílio financeiro.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, por toda parceria ao longo da caminhada, tornando os momentos enfadonhos mais suaves.

Ao Empreendimento Leite do Sertão pelo fornecimento da água residuária de laticínios para irrigação do experimento.

A toda a equipe que compõe o Laboratório de Análises de Água, Solo e Planta em nome da Prof.^a Jeane Portela, Junior Souto, Ana Kaline, Elídio Andrade, Antônio Carlos, Maria José e a carinhosa Edna Lúcia, por toda ajuda prestada.

A Prof.^a Solange, responsável pelo Laboratório de Saneamento, e aos bolsistas que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Alexandre Braga e aos técnicos do Laboratório de Nutrição Animal, Vilma Amâncio e Odonil Gomes, por toda disponibilidade e assistência prestada. Bem como, ao bolsista Daniel pela assistência.

Ao Prof. Luiz Di Souza e aos demais membros do Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), pela disponibilidade e colaboração.

A Prof.^a Sandra Alves pela parceria, porquanto o presente trabalho estava diretamente interligado ao seu pós-doutorado.

As minhas amigas Emanoela Magna, Vanessa Tainara, Mardja Luma, Tereza Amélia e Thais Cristina por toda colaboração, dedicando um pouco do seu precioso tempo para contribuir com a construção do presente trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa Rutilene Rodrigues, Elidaiane Cunha, Ayslann, Danilo Isac, Hérick Galdino, Igor Estevão, Hudson Salatiel, Danniely de Oliveira, Fernanda Cavalcante, Alex Feitosa, Fabrícia Costa, Blake Charles, Ketson Silva, João Paulo, Mariana Pinheiro e Wallas Souza. Vocês foram primordiais para a execução do presente trabalho.

Aos Doutores Raniere Barbosa e Raimundo Fernandes pela doação das mudas do mandacaru sem espinho, primordiais para a execução deste trabalho.

A Doutora Daniela Leite por todo auxílio prestado nas atividades em campo e laboratoriais. Bem como, a Valdécio Dantas e Francisco José por toda contribuição durante as atividades em campo.

A todos que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Sou o resultado da confiança e incentivo de cada um. MUITÍSSIMO OBRIGADA.

Quando o agricultor ara a terra para o plantio, só faz isso o tempo todo? Só fica abrindo sulcos e gradeando o solo? Depois de nivelado o solo, ele não semeia o endro e não espalha as sementes do cominho? Não planta o trigo no lugar certo, a cevada no terreno próprio e o trigo duro nas bordas? O seu Deus o instrui e lhe ensina o caminho.

(Isaías 28:24-26)

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de água residuária de laticínios na produção e no desenvolvimento do mandacaru sem espinho e nas alterações químicas de um argissolo em Mossoró-RN. O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Reúso de Água, em um Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico. Foi montada a área experimental para a produção do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios, proveniente de uma lagoa facultativa aerada. As doses do efluente de laticínios foram obtidas pelo método da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e cinco tratamentos, sendo: T1 – somente água da rede de abastecimento público, T2 - 0,1 x lâmina de aplicação anual mais água de abastecimento, T3 - 0,2 x lâmina de aplicação anual mais água de abastecimento, T4 – 0,3 x lâmina de aplicação anual mais água de abastecimento, e T5 - 0,4 x lâmina de aplicação anual mais água de abastecimento. Foram estudados os fatores proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento em profundidades de amostragem. As mensurações de crescimento do mandacaru sem espinhos foram realizadas 240 dias após o plantio, observando os aspectos morfométricos. A condutividade elétrica do extrato de saturação apresentou significância a 1% de probabilidade, sendo o tratamento T5 o que mais incrementou sais ao solo. O maior aporte de fósforo ocorreu com aplicação do tratamento T4, tanto em superfície quanto em profundidade. O indicador produtividade apresentou um maior rendimento com a aplicação do tratamento T4, alcançando 28,2 Mg.ha⁻¹. A proteína bruta foi significativa a 1% de probabilidade, tendo destaque para os tratamentos T4 e T5. Todavia, o T4 sobressaiu, compondo 17,6% de proteína bruta. Assim, o tratamento T4 predominou em relação aos demais, porquanto favoreceu o rendimento da cultura sem causar impactos significativos ao solo.

Palavras-chave: Reúso. Água Residuária Industrial. Cactáceas. Forrageira.

ABSTRACT

The present work aimed to analyze the effects of dairy plants wastewater on the production and development of mandacaru without thorns and on the chemical changes of an argisol in Mossoró, state of Rio Grande do Norte. The experiment was conducted at the Experimental Water Reuse Unit on a Eutrophic Red Yellow Argisol. The experimental area was set up for the production of mandacaru without thorns irrigated with effluent from dairy, from the facultative aerated lagoon. Doses of dairy effluents were obtained by the method of the United States Environmental Protection Agency. The experiment was set up in a randomized block design, with five replications and five treatments, namely: T1 - only water from the supply network, T2 - 0.1 x annual application layer plus supply water, T3 - 0.2 x annual application layer plus supply water, T4 - 0.3 x annual application layer plus water supply, and T5 - 0.4 x annual application layer plus water supply. We analyzed the proportions of effluent and water supply at sampling depths. Measurements of mandacaru growth were performed 240 days after planting, observing the morphometric aspects. The electrical conductivity of the saturation extract presented significance at 1% of probability, in which T5 treatment caused the highest increase of salts in the soil. The highest input of phosphorus occurred with T4 treatment, both in surface and in depth. The productivity indicator showed a higher yield with T4 treatment, reaching 28.2 Mg.ha⁻¹. Crude protein was significant at 1% probability, with emphasis on T4 and T5 treatments. However, T4 stood out with 17.6% crude protein. Thus, the T4 treatment predominated in relation to the others, as it favored the yield of the crop without causing significant impacts to the soil.

Key words: Reuse. Industrial Wastewater. Cactaceae. Forage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção de leite nos estados inseridos na Região Nordeste (1990, 2000 e 2010).	21
Tabela 2. Níveis de contaminação de efluentes de laticínios não tratados.....	23
Tabela 3. Padrões de lançamento de efluentes industriais.....	27
Tabela 4. Classificação e valores de parâmetros para o reúso, conforme a NBR 13969.	32
Tabela 5. Percentual de determinados componentes do mandacaru sem espinhos.	39
Tabela 6. Lâminas brutas acumuladas no período de 240 dias de aplicação do efluente de laticínios e água de abastecimento público.	49
Tabela 7. Características químicas iniciais do solo.	52
Tabela 8. Características físicas iniciais do solo.	52
Tabela 9. Características físico-químicas do efluente de laticínios tratado (EL) e da água de abastecimento público (AA), ao longo do período experimental, e respectivos valores médios (M) e desvios padrão (DP)	56
Tabela 10. Características químicas do solo irrigado com efluente de laticínio.	62
Tabela 11. Características morfogênicas do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínio.	71
Tabela 12. Características Bromatológicas e composição nutricional do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínio.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquemática do sistema de tratamento de efluente de laticínio.	29
Figura 2. Localização da Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA) na UFERSA, campus Mossoró-RN.	40
Figura 3. Localização da Empresa Leite do Sertão, Mossoró-RN.	41
Figura 4. Etapas do tratamento do efluente de laticínios no empreendimento Leite do Sertão: caixa de areia (A); decanto-flotador (B, C) e lagoa facultativa aerada (D).	42
Figura 5. Esquemática da área experimental.	43
Figura 6. Área experimental após aplicação do efluente de laticínios.	44
Figura 7. Material homogêneo utilizado para estaquia (A); plantio das mudas com 0,25 m de comprimento, enterradas a 0,15 m de profundidade; área experimental após plantio de mudas (C).	45
Figura 8. Valores diários da precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência (ET _o), temperatura média do ar e radiação solar, obtidos de abril a dezembro de 2015.	47
Figura 9. Perfil do argissolo da área experimental (A); coleta de amostra indeformada (B); coleta de amostra deformada (C).	51
Figura 10. Pesagem da fitomassa fresca (A); corte do cladódio para posterior secagem (B); amostras secas e trituradas (C); preparo das soluções para determinação da fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro (D).	53
Figura 11. Comportamento do pH (A), CE _{es} (B), matéria orgânica (C), fósforo (D) e potássio (E) cultivado com mandacaru sem espinho, irrigado com proporções do efluente de laticínios e água de abastecimento público em cinco profundidades, aos 240 dias após ao plantio.	66
Figura 12. Comportamento do sódio (A), cálcio (B), magnésio (C) e nitrogênio (D) cultivado com mandacaru sem espinho, irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público em cinco profundidades, aos 240 dias após do plantio.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Água de Abastecimento Público
ABIA – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
CE – Condutividade Elétrica
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EHS – Departamento de Meio Ambiente, Saúde e Segurança
EL – Efluente de Laticínios
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
EPA – Agência de Proteção Ambiental
ETc – Evapotranspiração da Cultura
ETo – Evapotranspiração de Referência
FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FDA – Fibra em Detergente Ácido
FDN – Fibra em Detergente Neutro
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA – Instituto Nacional do Semiárido
IPPC – Prevenção e Controle Integrado de Poluição
MO – Matéria Orgânica
NMP – Número Mais Provável
ONU – Organização das Nações Unidas
pH – Potencial Hidrogeniônico
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UERA – Unidade Experimental de Reúso de Água
USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Panoramas da indústria de laticínios no Brasil e no Nordeste	19
2.2 Importância dos efluentes gerados nos laticínios.....	22
2.3 Impactos ambientais da disposição de efluentes de laticínios sem tratamento no ambiente	23
2.4 Legislação aplicada ao tratamento e uso de efluentes	25
2.5 Dispositivos de tratamento dos efluentes de laticínios	28
2.6 Importância do reúso da água	30
2.7 Produção de forragem animal com efluentes.....	33
2.8 Importância do mandacaru sem espinho.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 Caracterização da área experimental	40
3.2 Origem do efluente de laticínio e da água de abastecimento utilizados nos ensaios experimentais.....	41
3.3 Montagem da área experimental e manejo da aplicação do efluente de laticínios e da água de abastecimento público	43
3.4 Aplicação de água residuária de laticínios na produção do mandacaru sem espinhos e nas alterações químicas de argissolo	51
3.5 Determinação de características produtivas e biométricas do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público.....	53
3.6 Experimentação e análises estatísticas.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Características do efluente de laticínios e da água de abastecimento público	55
4.2 Características químicas do solo após fertirrigação com efluente de laticínios e água de abastecimento.....	62
4.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P) e Potássio (K).....	65
4.2.2 Sódio (Na); Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Nitrogênio (N)	68
4.3 Características morfométricas do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público	71

4.4	Características bromatológicas e composição nutricional do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público	73
5.	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos decorrentes da explosão demográfica, o processo de industrialização movido pela era tecnológica e a ampliação de outros segmentos de mercado vem causando efeitos catastróficos sobre o meio ambiente. A exploração excessiva dos recursos naturais, a agropecuária intensiva e a produção de efluentes industriais são exemplos acerca dessa problemática.

O semiárido brasileiro vem sofrendo com essas questões ambientais, como consequência dos fatores naturais e antrópicos, enfrentando longos períodos de estiagem que afetam, diretamente, o desenvolvimento econômico da região. A escassez hídrica afeta todos os setores, principalmente o agropecuário, que carecem de água para obter uma maior rentabilidade. Em contrapartida, as diversas etapas dos processos industriais favorecem a complexidade dos efluentes que são destinados, habitualmente, aos corpos hídricos, muitas vezes sem o devido tratamento, causando a degradação dos mananciais.

Devido a prioridade estabelecida por lei a respeito da utilização dos recursos hídricos disponíveis para consumo humano, os custos elevados para o tratamento a nível de lançamento em corpos hídricos e, toda essa problemática que o mundo vem enfrentando, a reutilização dos efluentes surge como uma alternativa satisfatória, principalmente, por conter um elevado teor de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o desenvolvimento de diversas culturas.

O planejamento e gestão dos recursos hídricos poderá transformar o semiárido nordestino em um dos principais produtores de carne e leite do país. Porquanto, o reúso das águas residuárias, sobretudo para as pastagens que necessitam de irrigação, consiste em uma solução viável, do ponto de vista econômico e ambiental, favorecendo o aumento da produção, reduzindo os custos, garantindo forragem durante todo o ano (VOLTOLINI et al., 2011).

De acordo com Matos et al. (2010), o volume de água residuária gerado nas indústrias de laticínios variam de 1 a 5 vezes o volume de leite processado. A melhor maneira para recuperar os nutrientes contidos no efluente é através da sua aplicação em pastagens e cultivos agrícolas, e quando aplicado adequadamente proporciona o máximo de benefícios econômicos.

A produção de cactos representa uma alternativa viável para a alimentação animal, uma vez que dispensa o uso excessivo de água, possui baixo custo de produção e estão adaptadas as regiões áridas e semiáridas. A irrigação com águas residuárias favorece o desenvolvimento das forrageiras, aumentando a produtividade com poucos recursos.

No Rio Grande do Norte é comum a utilização de cactáceas durante o período de estiagem, devido à resistência às elevadas temperaturas e às irregulares precipitações pluviométricas. A palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), o xique-xique (*Pilocereus gounellei*), o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) e o mandacaru (*Cereus jamacaru*) são as forrageiras mais utilizadas na região. Mesmo em meio as dificuldades no manuseio, devido à grande quantidade de espinhos que essas espécies apresentam, os produtores utilizam de técnicas para retirar os espinhos para posteriormente alimentar os animais.

Com a descoberta do mandacaru sem espinho (*Cereus hildmannianus*), pôde-se otimizar o trabalho dos produtores, além de possuir um maior valor proteico, quando comparado com outras forrageiras, inclusive com o próprio mandacaru convencional.

Dessa forma, aliar o uso de efluentes industriais rico em nutrientes prontamente disponível para as plantas com o cultivo do mandacaru sem espinho proporcionam grandes melhorias para a região semiárida, gerando retorno econômico e ambiental.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os efeitos da aplicação de água residuária de laticínios na produção e no desenvolvimento do mandacaru sem espinho e nas alterações químicas de um argissolo em Mossoró-RN.

Os objetivos específicos foram os seguintes: a) Determinar as características físico-químicas da água residuária de laticínios e água de abastecimento público utilizadas na irrigação do mandacaru sem espinho; b) Definir a dosagem de água residuária de laticínios que minimize as alterações químicas de argissolo e que maximize o desenvolvimento e produção do mandacaru sem espinho; c) Obter informações sobre a produção e características biométricas do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panoramas da indústria de laticínios no Brasil e no Nordeste

A indústria alimentícia ocupa uma posição significativa na economia brasileira, desempenham um papel importante no suprimento de alimentos, como também na geração de emprego e renda para a população. Dentre os segmentos da indústria alimentícia, o mercado lácteo ocupa uma posição de destaque no cenário econômico nacional, sendo um dos principais agronegócios do Brasil (EMBRAPA, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação – ABIA, em 2014, a indústria de produtos alimentares contribuiu com cerca de R\$ 525,8 bilhões, valor equivalente a 10,2% do Produto Interno Bruto do país. Dentre os inúmeros segmentos desse setor industrial, a produção de laticínio ocupou a 3º posição do ranking nacional, perdendo espaço somente para o mercado de derivados de carne, que encontra-se na liderança há alguns anos, seguido da indústria de benefício de café, chá e cereais. A estimativa da participação dos produtos lácteos no faturamento total da indústria de alimentos em 2014, foi de aproximadamente, R\$ 55,2 bilhões, o equivalente a 10,5% da contribuição total do setor (ABIA, 2015).

No cenário mundial, houve um crescente aumento na captação de leite *in natura*, movido pelo avanço das tecnologias sofisticadas no ramo lácteo, aliado a expansão da demanda de leite e derivados. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO aponta o leite e seus derivados como alimentos recordes de consumo em todo o mundo. Em 2012, a produção mundial de leite totalizou cerca de 754 milhões de toneladas, aumento equivalente a mais de 50%, ao longo das últimas três décadas. Neste contexto, a Índia é o maior produtor de leite do mundo, liderando o mercado internacional com 16% da produção, seguido dos Estados Unidos, China, Paquistão e o Brasil ocupando a 5º posição do ranking, da produção mundial (FAO, 2015).

O crescimento da cadeia agroindustrial do leite no Brasil ocorreu no início da década de 90, com a inserção de grandes empresas internacionais que investiram nesse segmento de mercado. Desde então, houve uma crescente demanda do consumo de produtos lácteos no país, em uma taxa anual de 3% ao longo da última década (LIMA FILHO et al., 2013).

O aumento no consumo de leite e seus derivados foi favorecido, principalmente, pelo crescimento populacional, integrado ao aumento da renda da população, a diversificação de produtos derivados do leite e mudanças nos hábitos alimentares, através de uma maior

conscientização do consumidor a respeito de saúde e segurança alimentar (EMBRAPA, 2002).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE revelam que no 3º trimestre de 2014, as indústrias processadoras de leite produziram cerca de 6,267 bilhões de litros do produto, havendo um acréscimo de 4,9% em relação ao mesmo período de 2013. Ao analisar a produção por região geográfica, o Sul e o Sudeste se destacaram na aquisição nacional, sendo responsáveis por 38,7 e 38,6%, respectivamente. As demais regiões juntas produziram o equivalente a 22,7% da produção nacional, no qual a Centro-Oeste colaborou com 13%. Logo, o Nordeste e o Norte foram as regiões que menos cooperaram com a aquisição, produzindo cerca de 5,3 e 4,5%, respectivamente (IBGE, 2014).

Apesar da baixa contribuição da região Nordeste no cenário atual da cadeia produtiva leiteira, SEBRAE (2013) aponta a referida região como pioneira na exploração de gado bovino no Brasil. Até meados do século XIX, estes animais eram explorados apenas para a produção de carne e tração maquinaria, posteriormente o leite passou a ser introduzido na alimentação da população nordestina.

Na Região Nordeste, o principal estado produtor é a Bahia, representando 31% da produção regional em 2010, seguido do estado de Pernambuco com 21,9%. O estado do Ceará é o terceiro maior produtor de leite da região, produzindo 11,1% da aquisição Nordeste, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Durante o período de 1990 a 2010, o volume de leite da região aumentou consideravelmente, passando de 2 bilhões para 3,9 bilhões de litros de leite. Entre os Estados do Nordeste, Pernambuco, Maranhão e Sergipe foram os que mais aumentaram o volume produzido, sendo estes os principais responsáveis pelo crescimento da produção de leite na região Nordeste. A produção do Rio Grande do Norte obteve um acréscimo de 122 milhões de litros de leite, quando comparada as últimas décadas (IBGE, 2012; SEBRAE, 2013).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, cita os entraves naturais como um dos fatores restritivos para o aumento da produção no Nordeste brasileiro, sendo as elevadas temperaturas, o principal fator limitante para o aumento de produtividade. A atuação antrópica, também, vem acelerando esse processo, através do uso irracional dos recursos naturais, causando danos à fertilidade, produtividade e aspectos físicos do solo, à flora e fauna regionais, além da diminuição da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, quebra da produção agropecuária, entre outros (EMBRAPA, 2015).

Tabela 1. Produção de leite nos estados inseridos na Região Nordeste (1990, 2000 e 2010).

Região/Estado	Produção de leite (em mil litros)			Participação (%)	Var % (00/90)	Var % (10/00)
	1990	2000	2010			
Brasil	14.484.413	19.070.048	30.715.459	-	36,5	55,4
Região Nordeste	2.045.265	2.159.230	3.997.890	100,0	5,57	95,5
Bahia	743.774	724.897	1.238.547	31,0	- 2,54	70,8
Pernambuco	312.522	292.130	877.420	21,9	- 6,52	200,3
Ceará	283.561	331.873	444.144	11,1	13,1	33,8
Maranhão	126.934	149.976	375.898	9,4	18,2	150,6
Sergipe	99.862	115.142	296.650	7,4	15,3	157,6
Alagoas	148.579	217.887	231.367	5,8	46,6	6,2
Rio Grande do Norte	106.966	144.927	229.492	5,7	35,5	58,4
Paraíba	155.151	105.843	217.018	5,4	- 31,8	105,0
Piauí	57.916	76.555	87.354	2,2	32,2	14,1

Fonte: Adaptado de IBGE (2012) e SEBRAE (2013).

De acordo com a EMBRAPA (2015), 40% do território do Rio Grande do Norte está afetado pela desertificação devido à agropecuária tradicional, extrativismo vegetal e pelo uso de tecnologias modernas, manuseadas de forma inadequada, nos perímetros irrigados. Dessa forma, torna-se primordial fazer uso de um sistema de produção mais racional, através de mudanças das tecnologias aplicadas, abrindo mão de conceitos antigos, pré-tecnológicos e premeditado.

Mesmo em meio a indicadores de eficiência abaixo do mínimo necessário para viabilizar a atividade, a pecuária de leite exerce uma relação essencial na vida dos nordestinos, mantendo a esperança de que dias melhores virão, perseverando perante os desafios existentes. Deste modo, a região possui particularidades próprias que oferecem potencialidades à produção de leite, com enorme espaço para o aumento de produção e melhoria de produtividade (SEBRAE, 2013).

No contexto geral, a competitividade e a sobrevivência dos laticínios brasileiros estão, diretamente, relacionadas à qualidade dos produtos, garantindo a segurança alimentar e à satisfação do consumidor. Para isso é necessário uma gestão da qualidade, através da redução de custos e desperdícios, associado as questões ambientais (CETESB, 2008).

2.2 Importância dos efluentes gerados nos laticínios

A indústria de laticínios constitui um importante papel no segmento de mercado alimentício. A água é um recurso essencial para um desempenho satisfatório deste setor, em todas as etapas do processo. A vazão industrial e o volume dos efluentes estão, diretamente, relacionados ao volume de água consumido pela indústria de laticínio. Para cada litro de leite processado é gerado, aproximadamente, 0,2 a 10 litros de resíduo. Em média, esses valores giram em torno de 3,25 litros de efluente por litro de leite processado (MATOS, 2007; QASIM; MANE, 2013).

Para Matos et al. (2010), o volume de água residuária gerado na atividade varia de acordo com o produto final e do nível tecnológico da indústria de laticínios. O mesmo apresenta uma diversidade de nutrientes que podem ser utilizados na promoção do desenvolvimento de culturas e pastagens, além de reduzir, potencialmente, a utilização de fertilizantes inorgânicos e água potável na irrigação.

Dairycatch (2006) aponta que a aplicação desses efluentes na vegetação, por meio da fertirrigação, como o meio preferido para o aproveitamento desses nutrientes. Visto que, trata-se de um material biologicamente ativo. Dessa forma, quanto mais cedo o efluente for aplicado, mais nutrientes estará disponível para uso ou serão armazenados no solo para posterior absorção. Além disso, o efluente deve ser aplicado uniformemente, com taxas adequadas para atingir máximo de benefícios econômico e ambiental.

O gerenciamento das águas residuárias de laticínios são indispensáveis para a sua utilização. Caso as águas residuárias não sejam adequadamente tratadas e dispostas no ambiente, poderá acarretar adversos impactos ambientais. Entretanto, ao manejar adequadamente, o material orgânico presente no efluente contribui significativamente para a melhoria da estrutura do solo e capacidade de retenção de água (DAIRYCATCH, 2006; MATOS, 2010).

Assim, os efluentes de laticínios proporcionam benefícios ambientais e financeiros, devido ao fornecimento de nutrientes para a planta e a introdução da matéria orgânica adicional para o solo, trazendo melhorias a estrutura do solo e as propriedades de enraizamento associados, além de reduzir as cargas orgânicas e bacteriana que seriam direcionadas ao corpo hídrico. Contudo, os sistemas de tratamento devem ser apropriados, garantindo a eficiência do sistema de tratamento, para que não haja risco ao meio receptor.

2.3 Impactos ambientais da disposição de efluentes de laticínios sem tratamento no ambientes

As indústrias alimentícias demandam uma grande quantidade de água em todas as etapas do processo produtivo e nas necessidades operacionais, gerando grande quantidade de efluente, que necessitam de tratamento antes de serem lançados nos corpos hídricos receptores. Esses efluentes são caracterizados por apresentarem elevados teores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), provindos principalmente da produção de nata, manteiga, queijo e soro (EHS, 1999; SARKAR, 2006).

Dentre as indústrias de processamento de alimentos, a indústria de laticínios se destaca na poluição dos corpos hídricos. Uma vez que o beneficiamento do leite provoca abundante carga poluidora, devido a elevada concentração de compostos orgânicos em suspensão nas águas residuárias (MATOS et al., 2010).

Os principais contribuintes orgânicos são carboidratos, proteínas e gorduras procedentes do leite. O pH varia de neutro a ligeiramente alcalino, tendendo a acidificação, devido à fermentação do açúcar do leite em ácido láctico. Estes efluentes implicam em inúmeros impactos negativos ao ambiente, devido a concentração desses elementos (DEMIREL et al., 2005; QASIM; MANE, 2013).

As águas residuárias tem uma composição extremamente variável, dependendo da tecnologia aplicada, porte do empreendimento, se há segregação do soro do leite, entre outros.

Tabela 2. Níveis de contaminação de efluentes de laticínios não tratados.

Características	Faixa de variação	
	(1)*	(2)**
DBO	450 – 4.790 mg.L ⁻¹	700 – 30.000 mg.L ⁻¹
DQO	500 – 4.500 mg.L ⁻¹	1.030 – 45.00 mg.L ⁻¹
Sólidos Suspensos	24 – 5.700 mg.L ⁻¹	100 – 1000 mg.L ⁻¹
Sólidos Totais	135 – 8.500 mg.L ⁻¹	100 – 2000 mg.L ⁻¹
Gordura	35 – 500 mg.L ⁻¹	95 – 550 mg.L ⁻¹
Nitrogênio	15 – 180 mg.L ⁻¹	63 – 1.300 mg.L ⁻¹
Fósforo	20 – 250 mg.L ⁻¹	3 – 32 mg.L ⁻¹
Sódio	60 – 807 mg.L ⁻¹	–
Cloreto	48 – 469 mg.L ⁻¹	–
Cálcio	57 – 112 mg.L ⁻¹	–
Magnésio	22 – 49 mg.L ⁻¹	–
Potássio	11 – 160 mg.L ⁻¹	5 – 600 mg.L ⁻¹
pH	5,3 – 9,4	1 – 12
Temperatura	12 – 40 °C	20 – 30 °C

Fonte: Adaptado de *IPPC (2006); **Matos (2007) e CETESB (2008).

No contexto geral, as indústrias lácteas geram diversos impactos ambientais, a começar pelo alto consumo de água, alto consumo de energia, emissões atmosféricas, geração de resíduos sólidos e líquidos, sendo a descarga de efluentes o principal impacto ambiental do setor. A quantificação desses impactos está relacionada com tempo de atuação da empresa, tecnologias e equipamentos empregados, entre outros (DANALEWICH et al., 1998; CETESB, 2008).

Conforme Danalewich et al. (1998) e CETESB (2008), dentre os impactos ocasionados pelo lançamento de efluentes lácteos sem tratamento, pode-se destacar:

- ✚ Aumento da matéria orgânica;
- ✚ Depleção do oxigênio;
- ✚ Eutrofização dos corpos hídricos receptores, devido a concentração excessiva de nutrientes, como nitrogênio e fósforo;
- ✚ Concentração de materiais tóxicos e íons de metais pesados;
- ✚ Mortandade da fauna e flora aquática;
- ✚ Geração de odor desagradável;
- ✚ Grandes variações de temperatura e pH;
- ✚ Aumento da turbidez dificultando a entrada de luz;
- ✚ Cor indesejáveis do ponto de vista estético;
- ✚ Acúmulo de materiais refratários, óleos e materiais flutuante
- ✚ Degradação do solo, através do excesso de nutrientes com alta salinidade;
- ✚ Alteração das características químicas e físicas do solo;
- ✚ Obstrução dos espaços porosos do solos por resíduos sólidos provenientes da gordura;
- ✚ Salinidade afetando o desenvolvimento da vegetação;
- ✚ Toxicidade de plantas;
- ✚ Contaminação das águas subterrâneas pelo processo de lixiviação;
- ✚ Proliferação de vetores; e
- ✚ Inúmeras enfermidades.

Com isso, Chaiudhari e Dhoble (2010) enfatizam a necessidade de realizar o tratamento do efluente antes do lançamento em corpos hídricos ou diretamente no solo, obedecendo os padrões de despejo, conforme as normativas regentes.

2.4 Legislação aplicada ao tratamento e uso de efluentes

A Constituição Federal de 1988, estabelece, através do seu Art. 21, inciso XIX, que compete a União instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso. Sendo diligência da União, Estados, Distrito Federal e Municípios registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos em seus territórios, conforme o Art. 23, inciso XI (BRASIL, 1988).

Com a criação da Agenda 21, constituída por meio da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada pela Organização das Nações Unidas – ONU, no Rio de Janeiro, em 1992, pôde-se estabelecer princípios acerca de diversos problemas voltados para as questões ambientais, tomando como base o desenvolvimento sustentável dos recursos disponíveis no planeta (ONU, 1992).

A Agenda 21, em seu Capítulo 18, aborda a respeito da proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos do planeta, objetivando assegurar água de qualidade para toda a população, através do uso de tecnologias inovadoras, aproveitando os recursos hídricos limitados e protegendo-os da poluição. O documento institui que todos os países, de acordo com sua capacidade e recursos disponíveis, implementem atividades voltadas para a prevenção e controle da poluição das águas, através da promoção da construção de instalações de tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais (ONU, 1992).

De acordo com a Agenda 21, os países deveriam estabelecer padrões para o despejo de efluentes e para as águas receptoras, centrada na minimização e prevenção da poluição por meio do uso de novas tecnologias, mudança de produtos e processos, redução da poluição na fonte e reutilização, reciclagem e recuperação, tratamento e eliminação ambientalmente segura dos efluentes. O documento impulsiona, ainda, o estímulo e promoção do uso de águas residuárias devidamente tratadas e purificadas na agricultura, aquicultura, indústria e outros setores. Além disso, as indústrias devem controlar as descargas de seus resíduos, por meio de tecnologias de baixa produção de resíduos e recirculação de água, de uma maneira integrada (ONU, 1992).

Somente em 1997 foi estabelecido no Brasil o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNGRH, regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, através da instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, regida pela Lei nº 9.433, em 8 de Janeiro de 1997. Com isso, a água passou a ser considerada como um bem de

domínio público, tratando-se de um recurso natural limitado e dotada de valor econômico (BRASIL, 1997).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR 13969/1997, apresenta o grau de tratamento de acordo com as classes de enquadramento, suas respectivas possibilidades de reúso e possíveis formas de tratamento (ABNT, 1997).

Em 2002, o Estado do Ceará estabeleceu, através da Portaria nº154, padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras de origem doméstica e industrial. As indústrias passaram a ter, obrigatoriamente, estação de tratamento própria. A referida portaria apresenta, ainda, valores limites para a reutilização de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas ligadas a irrigação e drenagem, dessedentação animal e aquicultura (CEARÁ, 2002).

Posteriormente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 357/2005, instituiu sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes. Atualmente, a referida resolução foi complementada e alterada pela Resolução nº 430/2011 (BRASIL 2005b; BRASIL, 2011).

Conforme a Resolução nº 430/2011, Seção II, Art. 16, os efluentes somente poderão ser lançados, diretamente, no corpo hídrico após tratamento, obedecendo as condições e padrões previstos na referida resolução, conforme a tabela 3 (BRASIL, 2011).

De acordo com Ceará (2002), os padrões permitidos para reúso na irrigação de vegetais consumidos crus e sem remoção de película, são: Coliformes fecais < 1000 CF.100 mL⁻¹; Ovos de helmintos < 1 ovo.L⁻¹ de amostra; e condutividade elétrica < 3000 µS.cm⁻¹.

Telles e Costa (2010) apontam que apesar do reúso já fazer parte da realidade dos brasileiros, o país ainda não possui uma posição oficial e legal dirigida a esta tecnologia, havendo a necessidade de uma legislação específica para a temática em questão. Os normativos existentes abordam somente diretrizes, critérios e procedimentos gerais. De acordo com Brasil (2015) existe propostas para elaboração da normatização visando a regulamentação da utilização da água de reúso.

Devido à ausência de legislação brasileira, são adotados padrões referenciais como orientações técnicas produzidas por instituições, públicas ou privadas, sobretudo as normas regulamentadoras da ABNT, ou de entidades internacionais. Dessa forma, a ausência de informações tem se tornado um fator limitante na expansão da prática do reúso no Brasil, dificultando o trabalho dos profissionais (OLIVEIRA, 2013).

Além disso, a mais rigorosa proibição de regulamentação imposta pelos órgãos ambientais, juntamente com alguns não-governamentais e organizações de proteção ambiental tem encarecido os tratamentos de água para alcançar os padrões de qualidade alta, se tornando um fardo enorme para os diversos segmentos industriais (SARKAR et al., 2006).

Tabela 3. Padrões de lançamento de efluentes industriais.

Parâmetros	Portaria N° 154/2002	Resolução N° 430/2011
pH	5,0 a 9,0	5,0 a 9,0
Temperatura	< 40 °C ¹	< 40 °C ¹
Demanda Bioquímica de Oxigênio	–	Remoção mínima de 60% de DBO
Demanda Química de Oxigênio	200,0 mg.L ⁻¹	–
Materiais Sedimentáveis	Até 1,0 mL.L ⁻¹ em teste de 1 hora em Cone Imhoff	Até 1 mL.L ⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff
Sólidos em suspensão totais	100,0 mg.L ⁻¹	–
Regimes de lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período da atividade diária do empreendimento	Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos minerais	20,0 mg.L ⁻¹	20,0 mg.L ⁻¹
Óleos vegetais	50,0 mg.L ⁻¹	50,0 mg.L ⁻¹
NMP de coliformes fecais	5000 CF.100 mL ⁻¹	–
Parâmetros inorgânicos		
Cádmio	0,2 mg.L ⁻¹ Cd	0,2 mg.L ⁻¹ Cd
Cobre	1,0 mg.L ⁻¹ Cu	1,0 mg.L ⁻¹ Cu
Chumbo	0,5 mg.L ⁻¹ Pb	0,5 mg.L ⁻¹ Pb
Ferro	15,0 mg.L ⁻¹ Fe	15,0 mg.L ⁻¹ Fe
Manganês	1,0 mg.L ⁻¹ Mn	1,0 mg.L ⁻¹ Mn
Níquel	2,0 mg.L ⁻¹ Ni	2,0 mg.L ⁻¹ Ni
Zinco	5,0 mg.L ⁻¹ Zn	5,0 mg.L ⁻¹ Zn

Fonte: Adaptado de Ceará (2002) e Brasil (2011).

¹ Sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C.

2.5 Dispositivos de tratamento dos efluentes de laticínios

Os laticínios variam desde pequenas estações de recepção a grandes instalações, envolvendo o processamento do leite cru para a produção dos seus derivados, tais como: leite, manteiga, queijo, leite condensado e leite em pó (CHAIUDHARI; DHOBLE, 2010).

De acordo com Farizoglu e Uzuner (2011), as indústrias de laticínios são consideradas como uma das maiores geradoras de águas residuárias. A água é utilizada desde o processamento, aquecimento e resfriamento, incluindo a limpeza e sanitização, como lavagem de pisos, limpeza de produto remanescente no tanque, caminhões, latas, tubos, tanques e outros equipamentos, realizadas rotineiramente.

Os efluentes da indústria de processamento de produtos lácteos contém uma elevada concentração de componentes orgânicos dissolvidos, com elevados níveis de DBO e DQO, elevadas concentrações de sólidos em suspensão, óleos e graxas, além de proteínas, hidratos de carbono e lipídios, nitrogênio e fósforo. Todas estas características requerem tratamentos especializados para evitar ou minimizar os problemas ambientais (FARIZOGLU; UZUNER, 2011; QASIM; MANE, 2013).

Tratar esses efluentes é de fundamental importância não só para o ambiente, como também, para a recirculação da água nos processos industriais. Para o tratamento são utilizados métodos físico-químico e biológico. Todavia, os processos biológicos são mais recomendados, devido à grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, além dos custos elevados com reagentes nos tratamentos físico-químicos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; DEMIREL et al., 2005).

Braile e Cavalcanti (1993) apontam que o método de tratamento a ser empregado, tanto nas indústrias de laticínios como nas demais, dependerá do volume e a carga de despejo, o tamanho da indústria, sua localização e os tipos de produtos fabricados.

Segundo Carta-Escoba et al. (2004), o tratamento convencional dos efluentes de laticínio são, principalmente, lodo ativado, filtros biológicos, lagoas aeradas, ou uma combinação destes. Bem como, tratamento biológico aeróbio após a sedimentação para posterior utilização na agricultura, havendo remoção do material orgânico pelos microrganismos do solo.

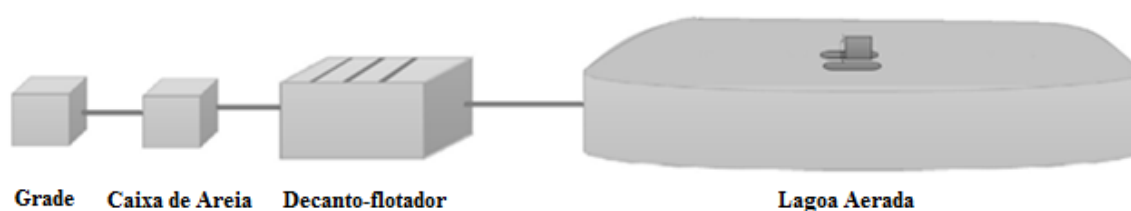
O tratamento dos efluentes lácteos deve seguir uma sequência de operações unitárias, constituídos basicamente por três subsistemas (tratamento preliminar, primário e secundário). A utilização desses subsistemas são de fundamental importância no tratamento das águas residuárias, garantindo a eficiência do processo biológico (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

O tratamento preliminar visa a remoção de sólidos grosseiros, como os coágulos do leite. Assim, nos laticínios são utilizados grades, que atuam neste processo impedindo as partículas de prosseguir, evitando obstruções e entupimentos ao longo do sistema. Posteriormente, são utilizados desarenadores, com o intuito de reter a areia e outros detritos minerais inertes contidos no efluente, evitando assoreamento em tanques e tubulações (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; MATOS, 2007).

O tratamento primário atua na remoção de sólidos sedimentáveis, sólidos flutuantes, óleos e graxas, entre outros resíduos com massa específica menor que a da água. O decanto-flotador atua neste processo, permitindo o acúmulo de partículas menos densas na superfície e o depósito das mais densas no fundo da unidade, formando uma massa de lodo. Os mesmos são utilizados para evitar a aderência de óleos e graxas em equipamentos, odores desagradáveis e proliferação de insetos (MATOS, 2007; LEME, 2010).

O tratamento secundário tem como objetivo principal, a remoção da matéria orgânica, sólidos suspensos e dissolvidos. Nas estações de tratamento lácteas são utilizados, usualmente, lagoas de estabilização facultativas e lagoas de estabilização aeradas. Nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido por meio de equipamentos mecânicos, inserindo o oxigênio atmosférico no meio, favorecendo a decomposição do material orgânico de maneira mais acelerada, quando comparado com as lagoas facultativas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; MATOS, 2007; LEME, 2010).

Figura 1. Esquematização do sistema de tratamento de efluente de laticínio.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

2.6 Importância do reúso da água

Os problemas de escassez e poluição das águas tornam-se cada vez mais frequentes, em contrapartida com a limitação de reservas de água doce no planeta, aliado ao crescimento populacional que ocasiona o aumento da demanda de água para atender, principalmente, o consumo humano, agrícola e industrial (FIESP, 2004; SARKAR et al., 2006).

De acordo com a Agência Nacional das Águas – ANA, a agricultura é responsável por 70% de todo o consumo mundial de água, cerca de 20% destina-se para o setor industrial e somente 10% para uso doméstico. Dentre os diversos usos da água no setor industrial, pode-se destacar a sua utilização para as necessidades de processamento, como a fabricação, diluição, incorporação da água em um produto, bem como, no processo de refrigeração e necessidades de saneamento no interior da instalação (ANA, 2009).

Brasil (2005a) define reúso de água como sendo a utilização de águas residuárias, estabelecendo, ainda, que águas residuárias trata-se do esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.

Para Sarkar et al. (2006) a reciclagem ou reutilização de água se torna um grande desafio, devido a grandes variações na qualidade dos efluentes, principalmente os de origem industrial, fazendo-se necessário a utilização de tecnologia de processo adequado para a purificação da água. Todavia, a reutilização das águas pode ocorrer de diversas formas.

De acordo com Philippi Jr. (2005) e Mota (2012) o reúso pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não. A forma direta está relacionado ao reúso da água provinda de um processo de tratamento, podendo ser utilizada na irrigação, aquicultura, indústria, e até mesmo para o abastecimento urbano. O reúso indireto ocorre através do lançamento das águas residuárias nas águas superficiais ou subterrâneas, após passar por um processo natural de diluição e autodepuração ao longo de seu percurso, volta a ser utilizada.

No Brasil, o lançamento dos efluentes industriais em corpos hídricos trata-se de uma prática bastante comum. As águas residuárias, sejam tratadas ou não tratadas, quando lançadas em corpos hídricos podem causar grandes impactos ao meio, devido à presença de nutrientes orgânicos e inorgânicos. Esses nutrientes podem causar problemas ao meio receptor, gerando ameaça para a fauna e a flora, como aos seres humanos que necessitam da água para sobreviver. Deste modo, ao reutilizar destes efluentes pode ter uma redução significativa, ou até mesmo a remoção completa, do impacto ocasionado ao ambiente. Além do grande potencial para uso agrícola, reduzindo a quantidade de água extraída a partir de fontes naturais (TOZE, 2005).

Apesar da pequena experiência em relação ao reúso no setor industrial brasileiro, existem bons exemplos de racionalização e reutilização de água no país. Algumas indústrias reinserem em seu produtivo as águas com diferentes níveis de qualidade, devido à complexidade de seus diferentes processos produtivos (ANA, 2009). De acordo com Philippi Jr. (2005), esse processo de reúso dentro das instalações industriais tem como objetivo economizar água e controlar a poluição, designado como reciclagem interna.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, por meio da Resolução nº 54, de 28 de Novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, considera o reúso da água uma prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, podendo esta prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos. Do mesmo modo, o reúso da água contribui para a redução da descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público, contribuindo para a redução dos custos associados à poluição, além de contribuir para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (BRASIL, 2005a).

Hochstrat et al. (2008) compara o modelo de reutilização com a água padrão, distinguindo da seguinte forma: reutilizar pelo simples fato de acomodar uma quantidade maior de água, devido a existente demanda, como ocorre no setor agrícola e industrial; reutilizar para fins ambientais, visando necessidades futuras adicionais ou novas; e reutilizar para aumentar ou para repor os recursos naturais, por meio do aumento do fluxo e recarga das águas subterrâneas.

Para Mota (2012) o reúso das águas apresenta inúmeras vantagens, dentre elas pode-se destacar o aumento da disponibilidade de água, a liberação da água disponível para utilização em usos onde há necessidade de melhor qualidade, além do não lançamento do esgoto em corpos hídricos e a sua utilização na produção de alimentos, uma vez que os mesmos possuem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, reduzindo o uso de fertilizantes químicos.

Neste contexto, a NBR 13969 apresenta uma série de utilidades para as águas residuárias de acordo com os parâmetros presentes e seus respectivos tratamentos, podendo utilizá-la para os mais variados fins, como está apresentado na Tabela 4 (ABNT, 1997).

Tabela 4. Classificação e valores de parâmetros para o reúso, conforme a NBR 13969.

Usos	Parâmetros	Tratamento
Classe 1		
Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez: < 5 NTU Coliformes fecais: < 200 NPM.100 mg.L ⁻¹ Sólidos Dissolvidos Totais: < 200 mL.L ⁻¹ Cloro residual: 0,5 – 1,5 mg.L ⁻¹ pH: 6 – 8	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamentos aeróbios seguidos por filtração convencional e cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
Classe 2		
Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez: < 5 NTU Coliformes fecais: < 500 NPM.100 mg.L ⁻¹ Cloro residual: > 0,5 mg.L ⁻¹	Nesse nível, é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
Classe 3		
Reúso nas descargas dos vasos sanitários.	Turbidez: < 10 NTU Coliformes fecais: < 500 NPM.100 mg.L ⁻¹ Sólidos Dissolvidos Totais: < 200 mL.L ⁻¹	Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessária apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.
Classe 4		
Reúso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontal.	Coliformes fecais: < 5.000 NPM.100 mg.L ⁻¹ Oxigênio Dissolvido: > 2 mL.L ⁻¹	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado de ABNT (1997).

Nos casos mais simples de reuso menos exigente pode-se utilizar a água de enxágue da máquina de lavar, reservando-a para posterior recirculação no vaso, ao invés de enviá-las para o sistema de esgoto para tratamento. No caso dos efluentes industriais, a água pode ser reutilizada no local, ou em um local industrial alternativo, para muitos processos industriais, como: lavagem de material, lavagem de veículos, proteção contra incêndio industrial, resfriamento, caldeira ou torre de resfriamento de água, entre outros (ABNT, 1997; EPA, 2009).

O reuso deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente, que é o uso racional ou eficiente da água, levando em consideração o controle de perdas e desperdícios, além da minimização da produção de efluentes e do consumo de água potável (OLIVEIRA, 2013).

2.7 Produção de forragem animal com efluentes

A demanda hídrica requerida pelas cadeias produtivas, agrícola e industrial, tem causado sérios conflitos socioeconômicos e ambientais, carecendo de uma gestão mais eficiente destes recursos. O quadro de poluição e escassez das águas tem se agravado constantemente, necessitando urgentemente de medidas mitigadoras que venha a minimizar esses impactos. A incorporação dos efluentes industriais nas atividades agrícolas seria uma saída, constituindo uma solução rentável para todas as esferas.

Voltolini et al. (2011) aponta a irrigação das pastagens nas regiões semiáridas como ponto culminante para o crescimento da exploração pecuária no Nordeste brasileiro, com potencial para se tornar uma das principais produtoras de carne e leite do país. Neste cenário de escassez e cobrança pelo uso da água, tornam-se cabível fazer uso de medidas alternativas que favoreçam a perenização e a produção das áreas de pastagens ou produção de volumosos suplementares. Os efluentes industriais e esgotos tratados são exemplos de recursos hídricos que poderiam ser empregados na irrigação de plantas forrageiras, como fonte alternativa.

Toze (2006) enfatiza os benefícios da utilização dessas águas para irrigação, dentre os quais destaca-se o aprimoramento do uso de recursos que, de outra forma seriam descartados e desperdiçados, além do aproveitamento dos nutrientes presentes, gerando impactos positivos sobre o meio ambiente. Para isso, é necessário fazer uso de práticas agrícola eficazes, levando em consideração os elementos presentes nos efluentes.

O aporte de nutrientes e matéria orgânica contido nos efluentes são importantes para o desenvolvimento das plantas que necessitam de macro e micronutrientes, principalmente durante o seu desenvolvimento. Com sua grande capacidade de extração, as plantas atuam na remoção e até mesmo na transformação de substâncias contendo metais pesados e compostos orgânicos tóxicos, mantendo os níveis de fertilidade e produtividade do solo (RUSAN et al., 2007; MATOS et al., 2010).

O uso de efluente proporciona o desenvolvimento das pastagens, adicionando matéria orgânica e melhorando a estrutura do solo. Com isso, aumenta o aporte de nutrientes e a capacidade de retenção de água no solo. Dairycatch (2006) afirma que, devido a lenta liberação dos nutrientes do solo, pode ser realizado vários cortes na pastagem, após a aplicação, além da praticidade e custo-benefício.

A literatura expõe que a utilização dessas águas vem proporcionando o aumento da produção de forragem para alimentação animal e benefícios econômicos. Voltolini et al. (2011) apontam os gêneros *Pennisetum*, *Panicum*, *Brachiaria* e *Cynodon* como as plantas forrageiras mais utilizadas no Nordeste brasileiro para uso em áreas irrigadas.

Conforme Bertoni (2008), o maior exemplo de irrigação utilizando efluentes no Brasil, são as áreas de canaviais irrigadas com vinhaça, obedecendo a legislação do Estado de São Paulo.

Dentre os estudos realizados com a produção de forragem, Abrahão (2006) e Matos et al. (2012) obtiveram excelentes resultados, através da produção dos capins elefante (*Pennisetum purpureum* schum) e tifton 85 (*Cynodon spp*), em sistemas alagados construídos, utilizando efluente de laticínios bruto. Através desse sistema pôde-se obter maior remoção de nitrogênio, potássio e sódio do efluente.

O cultivo de taboa (*Typha dominguensis*) e lírio do brejo (*Hedychium coronarium*) utilizando efluente de laticínio proporciona a um melhor desempenho no crescimento e desenvolvimento foliar, assim como a remoção significativa de nitrogênio e fósforo, promovendo remoção satisfatória dos nutrientes da água residuária (MENDONÇA et al., 2012).

De acordo com Santos et al. (2013), em estudos realizados com capim mombaça (*Panicum maximum*), o aumento das doses do efluente de laticínio foram diretamente proporcionais ao aumento dos teores de proteína bruta, fósforo e potássio na planta. Foram utilizados 400 m³.ha⁻¹ de efluente, elevando os teores de carbono orgânico, potássio, fósforo e cálcio do solo, alterando positivamente a fertilidade. Os autores enfatizam, ainda, que o uso

das águas residuárias de laticínio apresentam potencial de substituição parcial da adubação fosfatada e total da adubação potássica.

A cultivar de Azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) utilizando água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro pôde-se obter maior produtividade de matéria seca e proteína bruta, como também maior possibilidade de cortes (FIA et al., 2010).

Para Oliveira (2014), o uso das águas residuárias da agroindústria de graxaria contribui de forma significativa para a produção de forragem e preservação do meio ambiente. A utilização desse efluente favorece o aumento da produção e a taxa de acúmulo de material vegetativo dos capins tangola (*Brachiaria mutica* x *Brachiaria arrecta*) e vaqueiro (*Cynodon dactylon*).

A utilização de efluentes favorece o uso mais eficiente da água, aumentando a produção de matéria seca por unidade de tempo e espaço. Com isso, Rusan et al. (2007) afirma que a gestão adequada das águas residuárias na irrigação, vinculada ao monitoramento periódico da fertilidade do solo e parâmetros de qualidade da água devem, garantir a reutilização com sucesso, segurança e controle dos riscos que os efluentes podem acarretar.

2.8 Importância do mandacaru sem espinho

A caatinga, um bioma exclusivo do território brasileiro, caracteriza-se por apresentar árvores de pequeno porte e arbustos, que possuem adaptações morfológicas e, ou fisiológicas, no qual permitem a sobrevivência durante longos períodos de estiagem e em ambientes com elevadas temperaturas.

Algumas espécies da caatinga armazenam água, como os representantes da família Cactaceae, os quais desenvolveram adaptações para sobreviver em ambientes áridos. Essas plantas, em sua maioria, pertencem aos gêneros *Cereus*, representados principalmente por *Cereus jamacaru* (mandacaru); *Pilosocereus* constituído pelo *Pilosocereus gounellei* (xique-xique); e *Melocactus* através das variadas espécies de coroa-de-frade, como o *Melocactus zehntneri* e o *Melocactus bahiensis* (EMBRAPA, 2012).

O *Cereus jamacaru* possui uma aparência arbórea, podendo alcançar até 8 m em altura, apresentando um caule lenhoso, com uma forma cilíndrica e diâmetro avantajado de ramos quinados, que variam entre 4 e 8 quinas. Comumente, possuem espinhos que variam de tamanho em função do genótipo, podem alcançar 10 cm de comprimento. As flores e os frutos

são vistosos, apreciados pela fauna e pelo homem. As flores desabrocham ao anoitecer e murcham ao amanhecer. Os frutos possuem polpa de coloração branca e centenas de pequenas sementes pretas (CASTRO; CAVALCANTE, 2011; KAVAMURA et al., 2013; BEVILAQUA et al., 2015).

A origem desta espécie de cacto é desconhecida. Entretanto, alguns autores acreditam que, trata-se de uma planta originária do Brasil, comum da região semiárida do país. Na região Sul do país o mandacaru é designada *Cereus peruvianus* (CASTRO; CAVALCANTE, 2011; SILVA et al., 2015; BEVILAQUA et al., 2015).

Segundo Fernandes et al. (2016), existem relatos que descrevem o surgimento do mandacaru no sul do Brasil, que ocorreu por meio dos imigrantes dos nordestinos, devido a facilidade de alastramento da espécie, por meio da propagação vegetativa, introduziu a espécie na referida região.

Cavalcanti e Resende (2006a) apontam a ocorrência de variedades do mandacaru sem espinho em alguns estados no Nordeste, principalmente no Rio Grande do Norte, denominadas cientificamente de *Cereus hildmannianus* K. Schum. Essa variedade foi proveniente de uma mutação genética do Mandacaru (*Cereus jamacaru*), onde alguns genótipos não desenvolveram a ausência de espinhos.

De acordo com Cavalcanti e Resende (2006b), o mandacaru sem espinhos foi encontrado vegetando no litoral do Estado do Ceará. Posteriormente, a Embrapa Semiárido coletou mudas encontradas no entorno da capital do Rio Grande do Norte, para multiplicação por estaquia. Os autores enfatizam que este desenvolvimento do mandacaru sem espinho pode estar relacionado com o maior volume da precipitação que ocorre na região litorânea.

Estudos realizados pela Embrapa Semiárido no sertão da Paraíba e Pernambuco, em regiões características de clima seco, pôde-se constatar um menor desenvolvimento da planta quando comparadas com as da região litorânea, em função do baixo índice pluviométrico nos sertões nordestino (CAVALCANTI; RESENDE, 2006b).

Embora ocorra maior desenvolvimento no litoral, essas espécies requerem atenção em relação ao teor de água, visto que pertence à família das cactáceas, adaptadas as condições xerofitismo. Haja visto que, as plantas mais suculentas são mais susceptíveis à podridão causadas por bactérias e fungos.

De acordo com USDA (2016), o mandacaru sem espinho apresenta a seguinte taxonomia:

- ✚ Reino: Plantae
- ✚ Sub-reino: Tracheobionta
- ✚ Super divisão: Spermatophyta
- ✚ Divisão Magnoliophyta
- ✚ Classe: Magnoliopsida
- ✚ Subclasse: Caryophyllidae
- ✚ Ordem Caryophyllales
- ✚ Família: Cactaceae
- ✚ Gênero *Cereus* Mill.
- ✚ Espécie *Cereus hildmannianus* K. Schum.

O *Cereus hildmannianus* K. Schum são rupícolas ocorrendo, comumente, em afloramentos rochosos, eretas, alcançando até 15 m de comprimento. Seus caules são esverdeados com ramificações subapicais ou laterais. Possui segmentos com formato monomórfico, costelados que variam entre 4 e 7 costelas, largura entre 1,4 e 5,7, espessura de 0,6 a 1,5 cm e diâmetro de 5,8 a 16,5 cm. Apresentam flores por aréola de 12 – 21 cm por 5 – 8 cm. Possuem pericarpelos esverdeados, de 5,7 – 13 por 0,7 – 4,6 cm, emersos do caule, piriformes, cobertos de aréolas estéreis (BRUXEL; JASPER, 2005; SOLLER, 2012; SOLLER et al., 2014).

Diferente do mandacaru tradicional, que leva mais de 30 dias para ser plantado, o mandacaru sem espinhos pode ser plantado um dia após o corte, enterrando parte da planta diretamente no solo. O corte pode ser realizado após um ano do plantio, onde uma única planta apresentará capacidade para gerar 100 mudas. O plantio deve ser realizado com espaçamentos de 1,0 m entre plantas e 1,5 m entre fileiras, alcançando uma produção satisfatória numa pequena área (CAVALCANTI, 2008).

A produção é de 17 Mg.ha⁻¹ de matéria seca, variando de acordo com as condições regionais, superando a produção do mandacaru convencional e da palma forrageira. A utilização de adubos orgânicos podem ser utilizados para melhora rentabilidade na produção. Além disso, a área deve ser cercada, evitando a entrada de animais, visto que à ausência de espinhos permite a alimentação em qualquer época do ano (CAVALCANTI, 2008).

O mandacaru sem espinho apresenta uma importância inestimável para a região semiárida (CASTRO; CAVALCANTE, 2011; EMBRAPA, 2012; TAVARES et al., 2013; BEVILAQUA et al., 2015; SILVA et al., 2015), entre elas pode-se destacar:

- ✚ Elevado percentual de matéria seca e proteína;
- ✚ Facilidade no plantio e manejo, devido à ausência de espinhos;
- ✚ Forrageira, através da alimentação animal na estação seca;
- ✚ As flores e frutos servem de alimento para os insetos e aves selvagens;
- ✚ Planta medicinal, usada no combate ao escorbuto e nas afecções do aparelho respiratório, infecções de rins, fígado, úlceras e problemas renais;
- ✚ Agentes de fitoterapia no tratamento de úlceras gástricas;
- ✚ Sustentabilidade e a conservação da biodiversidade do bioma caatinga, através da manutenção da diversidade genética;
- ✚ Para fins decorativos, como planta ornamental;
- ✚ Interesse econômico, comercial, industrial;
- ✚ Tratamento de águas industriais, devido a sua capacidade de flocular partículas coloidais sem alterar o pH, atuando como coagulantes primários;
- ✚ Representa uma alternativa viável, pois dispensa o uso excessivo de água;
- ✚ Pouco exigente em tratamentos culturais e adubação;
- ✚ Podem ser multiplicadas tanto por sementes quanto por via vegetativa; e
- ✚ Resistentes às precipitações pluviométricas e ao clima semiárido.

Nesta perspectiva, Gilioli et al. (2013) estima o valor de alguns biomateriais naturais e a suas peculiaridades como agentes adsorventes, ressaltando a eficácia na descontaminação da água, enfatizando, em especial, o *Cereus hildmannianus* K. Schum. Porquanto, seus frutos são constituídos por mucilagem, um carboidrato complexo considerado como fibra dietética, gerando quantidades significativas de resíduos, utilizando como adsorvente na remoção de proteínas das águas residuais da indústria alimentícia.

Vale salientar que, trata-se de uma fonte alternativa para a região Nordeste, devido a dissipação das espécies utilizadas para na alimentação animal, como a palma forrageira, e sua ausência de espinhos, abolindo a prática das queimadas. Além disso, apresenta um elevado potencial para a alimentação animal, devido ao teor protéico, conforme apresentado na Tabela 5, estando um pouco acima do mandacaru tradicional, sorgo e palma forrageira (CAVALCANTI; RESENDE, 2006b; Wanderley, 2002).

Tabela 5. Percentual de determinados componentes do mandacaru sem espinhos, sorgo e palma.

Composição (%)	Mandacaru sem espinhos	Sorgo	Palma
Matéria Seca	17,21	30,53	12,63
Proteína Bruta	11,41	8,75	4,45
Fibra em detergente neutro	50,49	65,12	26,17
Extrato etéreo	2,22	1,65	0,84
Digestibilidade “ <i>in vitro</i> ”	88,15	–	–

Fonte: Cavalcanti e Resende (2006b); Wanderley et al. (2002).

Além da utilização primordial do mandacaru na alimentação animal, estudos revelam a viabilidade da utilização do extrato aquoso dos cladódios do *Cereus hildmannianus* para a fabricação de repelentes contra a Dengue, *Aedes aegypti* (KAMAKSHI et al., 2015).

Pereira et al. (2013) apontam a importância nutricional dos frutos do mandacaru, devido as suas propriedades funcionais, antioxidantes e o teor de vitamina C o fruto sobressai-se quando comparado as frutas comumente consumidas no Brasil.

Mesmo em meio a exuberância das plantas nativas das regiões semiárida existe um *déficit* quanto a preservação das mesmas, carecendo de cuidados especiais como a intensificação dessas espécies através da implantação de unidades de conservação (SARAIVA et al., 2015). Portanto, suas peculiaridades vão além do notório aos olhos humano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Este trabalho foi desenvolvido na Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA), apresentando uma área de 770 m² (20 m x 38,5 m), localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), câmpus Leste, BR 110-Km 47, Bairro Presidente Costa e Silva, Mossoró/RN, sob coordenadas geográficas: 5°12'29,32" Sul; 37°19'06,12" Oeste; e 18 m de altitude, conforme representado na Figura 2.

Figura 2. Localização da Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA) na UFERSA, câmpus Mossoró-RN.



Fonte: Google Earth (2017).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger a região apresenta clima do tipo BSh', quente e seco, com estação chuvosa concentradas entre Maio e Julho e intensa seca de Setembro a dezembro, com precipitação anual inferior de 650 mm e temperatura média anual ligeiramente maior do que 26,5 °C (ALVARES et al., 2014).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, a área experimental é classificada como Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2013).

3.2 Origem do efluente de laticínio e da água de abastecimento utilizados nos ensaios experimentais

O presente trabalho foi desenvolvido em parceria com a Empresa Leite do Sertão, localizada na Rua João Falcão, Bairro Rincão, Mossoró-RN, conforme Figura 3. O empreendimento tem como principais produtos o leite pasteurizado, bebida láctea, doce de leite, requeijão, queijo coalho, queijo minas frescal e manteiga do sertão.

Figura 3. Localização da Empresa Leite do Sertão, Mossoró-RN.



Fonte: Google Earth (2017).

Na UERA foi montada a área experimental para a produção do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios, proveniente da lagoa facultativa aerada do Leite do Sertão. A empresa gera 35 m³ de efluente por dia, provindo do processamento dos produtos e da sanitização do empreendimento (MARQUES, 2016).

A água residuária é transportada em tubulação de PVC, com diâmetro nominal de 150 mm, até o gradeamento, tipo fino, com espaçamento entre barras de 20 mm e área de seção transversal de 0,50 m² (1,0 m de largura por 0,5 m de 0,50 m de comprimento); o efluente passa por um decanto-flotador para a remoção da gordura; em seguida, o efluente é lançado em uma lagoa facultativa aerada com área superficial de 300 m² (10 m de largura por 30 m de comprimento), profundidade de 2,0 m, dois agitadores e tempo de detenção hidráulico de 17 dias; e por fim, o efluente tratado é utilizado na irrigação de capim elefante, como apresentado na Figura 4 (MARQUES, 2016).

Figura 4. Etapas do tratamento do efluente de laticínios no empreendimento Leite do Sertão: caixa de areia (A); decanto-flotador (B, C) e lagoa facultativa aerada (D).

A.



B.



C.



D.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

O transporte do efluente de laticínios da Empresa Leite do Sertão até a área experimental, UERA/UFERSA, ocorreu por meio do uso de cinco reservatórios

impermeabilizados de 20 L, sendo transportado sempre no dia da irrigação do mandacaru sem espinho, coletado as 7 horas da manhã, para evitar descaracterização da mesma.

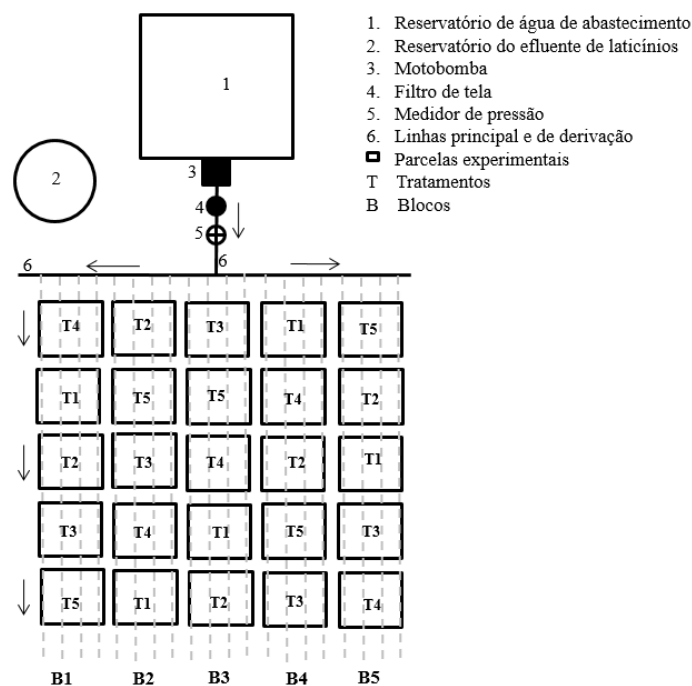
A água de abastecimento público utilizada nos ensaios foi proveniente da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), sendo, antes da realização dos estudos, armazenada em reservatório impermeabilizado de 16 m³, sombreada por cajueiro, evitando o seu aquecimento.

3.3 Montagem da área experimental e manejo da aplicação do efluente de laticínios e da água de abastecimento público

Na EURA/UFERSA foi delimitada uma área experimental que ocupou 49 m², onde foram delimitadas 25 parcelas, cada uma nas dimensões de 1,0 x 1,0 m (1,0 m²) tendo espaçamento de 0,50 m entre blocos e parcelas, como apresentado na Figura 5.

O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados, onde foram estudados os fatores: proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento e profundidades de amostragem.

Figura 5. Esquematização da área experimental.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Para aplicação da água de abastecimento público foram utilizados os seguintes componentes:

- ✚ Um reservatório de concreto de 16 m³;
- ✚ Um conjunto motobomba de 0,5 cv com um filtro de tela, dotado de aberturas de 130 µm;
- ✚ Uma linha principal em PVC com 32 mm de diâmetro; e
- ✚ 20 linhas laterais com emissores não-autocompensantes de 2,0 L h⁻¹ de vazão nominal e espaçamento entre emissores de 0,30 m.

O sistema de irrigação foi operado, durante o período experimental, na pressão de serviço de 100 kPa, empregando-se manômetro de glicerina graduado de 0 a 400 kPa, com precisão de 10 kPa.

Enquanto, a aplicação do efluente de laticínios ocorreu da seguinte forma: a) Mistura do efluente dentro de um reservatório, para homogeneização do fluido, minimizando o efeito de sedimentação; b) Medição da quantidade específica com proveta graduada de 1 L; c) Transferência da quantidade medida para um regador; e d) Aplicação do efluente com auxílio de um regador, diretamente, no solo, dentro de cada parcela, minimizando-se contato direto do líquido com o mandacaru sem espinho (Figura 6).

Figura 6. Área experimental após aplicação do efluente de laticínios.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

O plantio do mandacaru sem espinho foi realizado no dia 18 de abril de 2015, sendo colocadas quatro mudas de 0,25 m de comprimento por parcela, enterradas 0,15 m no solo e espaçadas a cada 0,50 m (Figura 7). Ao longo do ciclo da cultura não foi realizada calagem, nem adubação mineral de fundação ou cobertura, conforme Mesquita (2016).

As mudas do mandacaru sem espinhos foram coletadas na propriedade do engenheiro agrônomo, Raimundo Fernandes de Brito, localizada no sítio Canudos, pertencente ao município Governador Dix-Sept Rosado/RN. As estaquias foram obtidas de plantas adultas com 2 à 5 m de altura (Figura 7).

Figura 7. Material homogêneo utilizado para estaquia (A); plantio das mudas com 0,25 m de comprimento, enterradas a 0,15 m de profundidade; área experimental após plantio de mudas

A.



B.



C.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Determinou-se a demanda hídrica do mandacaru sem espinho utilizando-se coeficientes de ajuste sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). A lâmina bruta de irrigação foi calculada por meio de um balanço hídrico, em que a entrada de água foi a irrigação e a saída, a evapotranspiração da cultura (ET_c). Utilizou-se a Equação 1, proposta

por Doorenbos e Pruitt (1977), modificada por Mantovani e Costa (1998), para se estimar a ETc:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (1)$$

Em que;

ETc - evapotranspiração da cultura, em mm d⁻¹;

ETo - evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹; e

Kc - coeficiente de cultura, adimensional.

A necessidade hídrica do mandacaru sem espinho foi estimada com base na evapotranspiração de referência, empregando a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), descrita na Equação 2.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹;

Rn - saldo de radiação à superfície, em MJ m⁻²d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, em MJ m⁻²d⁻¹;

T - temperatura do ar a 2 m de altura, em °C;

U2 - velocidade do vento à altura de 2 m, em m s⁻¹;

es - pressão de saturação de vapor, em kPa;

ea - pressão de vapor atual do ar, em kPa;

(es – ea) - déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em kPa °C⁻¹; e

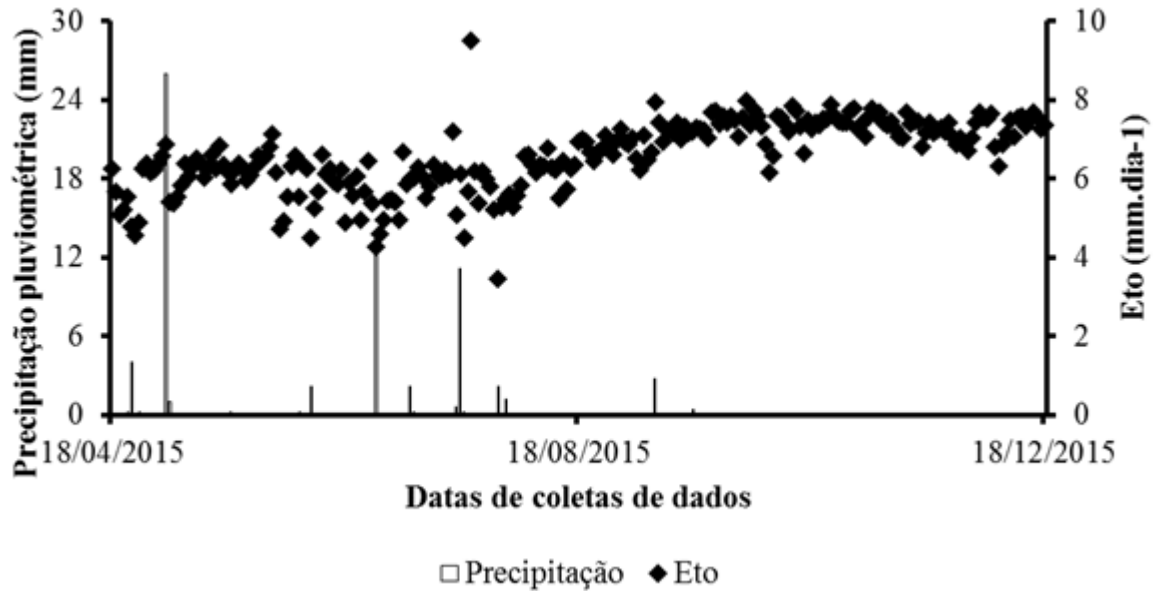
γ - constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹.

Os dados meteorológicos que foram utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foram: velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação, radiação solar e temperatura, obtidos de uma estação meteorológica instalada na UFERSA, localizada à 946 m de distância da UERA (MESQUITA, 2016).

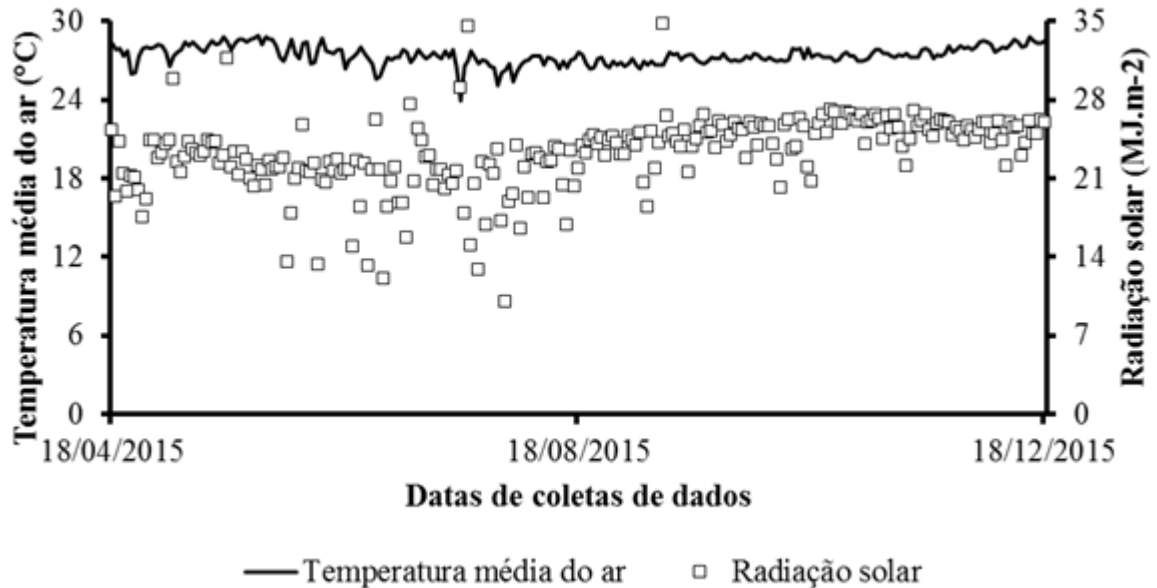
Na Figura 8 estão representados os dados de precipitação pluviométrica, ETo, temperatura média do ar e radiação solar, no período de abril a dezembro de 2015.

Figura 8. Valores diários da precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência-ET_o (A), bem como temperatura média do ar e radiação solar (B), obtidos de abril a dezembro de 2015.

A.



B.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Adotou-se para o mandacaru sem espinho o coeficiente de cultura único (K_c), no valor de 1,0 para todas as fases, porquanto não consta informações na literatura dados para a referida cultura.

As doses do efluente de laticínios foram obtidas pelo método da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – método EPA (EPA, 1981). Este método minimiza a contaminação das águas subterrâneas com nitrato em níveis acima dos limites aceitáveis para potabilidade de água, que é de 10 mg L⁻¹, como descrito na Equação 3.

$$L_w = \frac{C_p.(PR - ET) + 10U}{(1 - f)C_n - C_p} \quad (3)$$

Em que:

L_w – lâmina de aplicação anual, cm ano⁻¹;

C_p – concentração de nitrogênio na água de percolação, mg L⁻¹;

PR – precipitação local, cm ano⁻¹;

ET – evapotranspiração da cultura no local, cm ano⁻¹;

U – absorção de nitrogênio pela cultura, kg ha⁻¹ ano⁻¹;

C_n – concentração de nitrogênio na água residuária, mg L⁻¹; e

f – fração do nitrogênio que é removido por desnitrificação e volatilização.

Neste método, considerou-se C_p como 10 mg L⁻¹, PR-ET (obtido com auxílio de estação meteorológica automática), U igual a 100 kg ha⁻¹, f igual a 20% e C_n obtido em avaliações da qualidade do efluente de laticínios, ao longo do experimento. Dessa forma a dose de efluente de laticínios para a irrigação do mandacaru sem espinho, empregando-se o método da EPA, foi de 32 mm ano⁻¹. Devido ao elevado aporte de nitrogênio total do efluente de laticínios, a dose de 23,08 mm foi parcelada em 11 aplicações, que ocorreram quinzenalmente, complementadas com água de abastecimento público para atendimento pública para atender a ETc do mandacaru sem espinho.

As aplicações do efluente de laticínios iniciaram no dia 01 de Junho de 2015, sendo repedidas a cada 15 dias, intercaladas com as irrigação com água de abastecimento público, constituindo em irrigações semanais; no qual irrigava-se apenas água de abastecimento público e na semana seguinte com efluente de laticínios complementado com água de abastecimento público.

Conforme Lacerda et al. (2010), recomenda-se utilizar águas de baixa salinidade na fase de estabelecimento da cultura, visando a redução de impactos sobre a produtividade final, embora seja utilizado águas com maiores concentrações salinas no restante do ciclo. Com

isso, a irrigação com efluente de laticínios iniciou 42 dias após o plantio, para que a salinidade da planta não comprometesse a consignação das mudas de mandacaru sem espinho.

Os tratamentos aplicados, com base nos critérios da EPA (1981) e a necessidade hídrica da cultura foram:

- a) T1 – Cinco parcelas irrigadas somente com água de abastecimento público pela demanda hídrica da cultura (AA);
- b) T2 – Cinco parcelas irrigadas com 10% da dose de efluente de laticínios (EL) pelo critério EPA mais AA;
- c) T3 – Cinco parcelas irrigadas com 20% da dose de EL pelo critério EPA mais AA;
- d) T4 – Cinco parcelas irrigadas com 30% da dose de EL pelo critério EPA mais AA;
- e
- e) T5 – Cinco parcelas irrigadas com 40% da dose de EL pelo critério EPA mais AA².

Nos tratamentos T1 a T5 a aplicação da água de abastecimento público (AA) ocorreu, quinzenalmente, desde o plantio do mandacaru sem espinho no dia 18 de abril de 2015 até o encerramento do experimento no dia 18 de dezembro de 2015. No entanto, a aplicação do efluente de laticínios ocorreu a partir de 1 de junho de 2015, visando o não comprometimento das mudas na fase de adaptação.

Durante o ciclo do mandacaru sem espinho em campo até o corte aos 240 dias após o plantio, totalizou-se uma lâmina bruta de irrigação de 227,14 mm, a qual foi distribuída em cinco proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Lâminas brutas acumuladas no período de 240 dias de aplicação do efluente de laticínios e água de abastecimento público.

Tratamentos	EL	AA	Total
T1	0,00	227,14	227,14
T2	23,08	204,06	227,14
T3	46,16	180,98	227,14
T4	69,24	157,90	227,14
T5	92,32	134,82	227,14

Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

² Nota: T1 – somente água da rede de abastecimento (AA), T2 - 0,1 x Lw do EPA mais AA, T3 - 0,2 x Lw do EPA mais AA, T4 – 0,3 x Lw do EPA mais AA, e T5 - 0, 4 x Lw do EPA mais AA.

Durante o período experimental foi realizada a caracterização físico-química do efluente de laticínios e água de abastecimento público, mensalmente, por meio da coleta de três amostras compostas no período de abril a dezembro de 2015. Cada amostra composta foi obtida de três amostras simples coletadas às 8:00 h, 11:00 h e 14:00 h, à jusante da lagoa aerada.

Após a coleta, as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C até a entrada das mesmas nos laboratórios. As amostras compostas dos efluentes foram encaminhadas para o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) e para os Laboratórios de Saneamento Ambiental e de Análises de Água, Solo e Planta, ambos pertencentes à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

As análises físico-químicas foram:

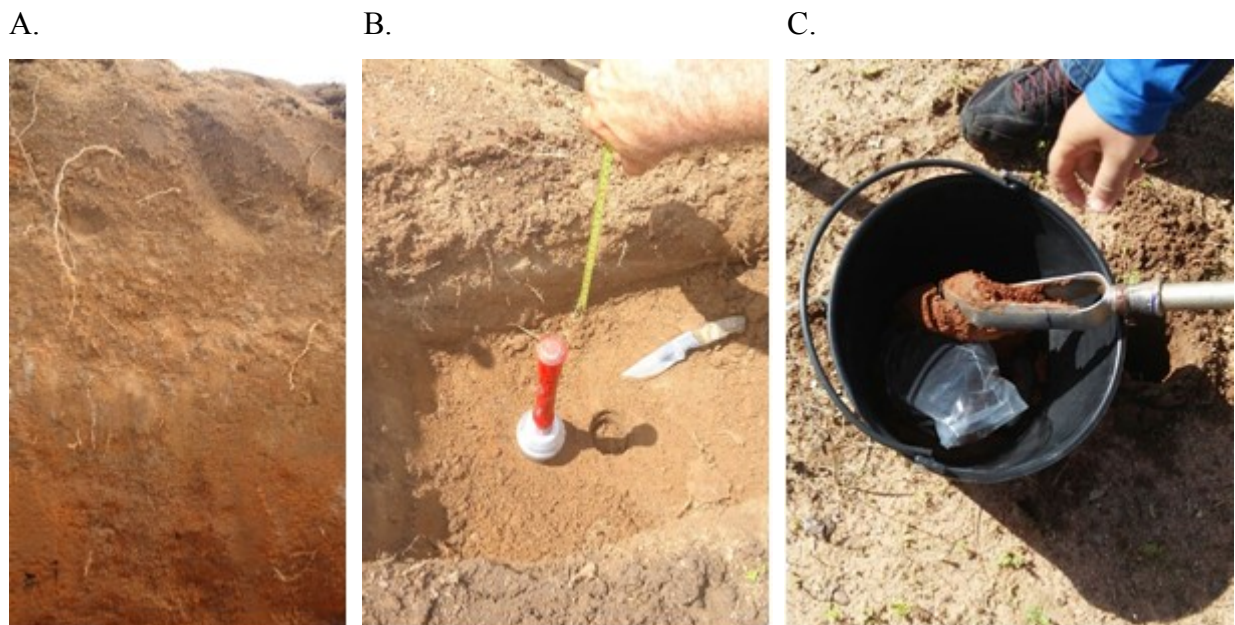
- ✚ Potencial hidrogeniônico (pH) medido com peagâmetro portátil;
- ✚ Condutividade elétrica por condutivímetro;
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅, ²⁰), obtida pelo método iodométrico (processo Winkler);
- ✚ Demanda Química de Oxigênio (DQO), obtida pelo método oxidimétrico com refluxo;
- ✚ Nitrogênio (N) obtido pelo método Kjeldhal;
- ✚ Fosfato (PO₄⁻) obtido por espectrofotometria;
- ✚ Sólidos totais (ST), obtidos pelo método gravimétrico;
- ✚ Sólidos suspensos (SS) empregando o método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro);
- ✚ Sólidos dissolvidos (SD), obtidos pela diferença entre as concentrações de ST e SS;
- ✚ Cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), obtido pelo método titulométrico;
- ✚ Sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), empregando fotometria de emissão de chama;
- ✚ Razão de adsorção de sódio (RAS) determinada pela metodologia de Richards (1954);
- ✚ Cloreto, carbonato e bicarbonato pelo método titulométrico;
- ✚ Concentrações de cobre, zinco, manganês, ferro, níquel, chumbo e cádmio por espectrofotometria de absorção atômica.

As análises físico-químicas seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE et al., 2012).

3.4 Aplicação de água residuária de laticínios na produção do mandacaru sem espinhos e nas alterações químicas de argissolo

Para avaliação da qualidade do solo foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,30 m; 0,30 a 0,40 m e 0,40 a 0,50 m, com auxílio de trado tipo holandês, antes da aplicação das proporções de efluentes de laticínios e água de abastecimento (Tabelas 6 e 7; Figura 9), e 240 dias após o cultivo do mandacaru sem espinhos.

Figura 9. Perfil do argissolo da área experimental (A); coleta de amostra indeformada (B); coleta de amostra deformada (C).



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Em cada camada foram coletadas quatro amostras simples dentro da faixa molhada formada pelo sistema de irrigação por gotejamento, obtendo-se uma amostra composta por profundidade em cada uma das 25 parcelas do experimento.

No Laboratório de Análises de Água, Solo e Planta (LASAP) da UFERSA foram determinadas as seguintes características químicas do solo: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) segundo as recomendações técnicas da EMBRAPA (SILVA, 2009).

Tabela 7. Características químicas iniciais do solo.

Profundidade (m)	pH	CE _{es}	MO	N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn	Cu
		dS.m ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³mg.dm ⁻³.....	.....mg.dm^{-3}.....
0 a 0,10	6,75	0,59	20,78	1,40	35,31	115,04	19,18	4,20	2,60	554	3320	223,6	6,1
0,10 a 0,20	6,79	0,48	24,46	1,05	28,89	92,66	14,21	2,80	1,90	727	2334	194,4	9,9
0,20 a 0,30	7,08	0,31	14,71	0,70	18,93	134,84	7,26	1,90	3,30	810	1584	106,7	14,6
0,30 a 0,40	7,08	0,18	14,16	0,70	11,29	194,22	11,23	2,80	1,50	887	1488	44,2	6,5
0,40 a 0,50	7,13	0,13	13,24	0,70	8,32	184,32	12,23	3,20	3,10	981	1094	27,6	5,0

Profundidade (m)	Al ³⁺	H+Al	SB	t	CTC	V	M	PST
	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³.....	.....cmolc.dm ⁻³
0,00 a 0,10	0,00	0,00	7,18	7,18	7,18	100	0	1,16
0,10 a 0,20	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00	100	0	1,24
0,20 a 0,30	0,00	0,00	5,58	5,58	5,58	100	0	0,57
0,30 a 0,40	0,00	0,00	4,85	4,85	4,85	100	0	1,01
0,40 a 0,50	0,00	0,00	6,82	6,82	6,82	100	0	0,78

Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Tabela 8. Características físicas iniciais do solo.

Profundidade (m)	Massa Específica do solo	Massa Específica de partículas	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Relação Silte/Argila
	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	..... kg.kg ⁻¹ .....	..... kg.kg ⁻¹ .....	..... kg.kg ⁻¹		
0,00 a 0,10	1,81	2,64	0,83	0,09	0,08	Areia	1,17
0,10 a 0,20	1,70	2,44	0,83	0,09	0,08	Areia	1,17
0,20 a 0,30	1,28	2,41	0,81	0,08	0,11	Areia Franca	0,78
0,30 a 0,40	1,96	2,38	0,71	0,12	0,17	Areia Franca	0,70
0,40 a 0,50	1,86	2,45	0,63	0,07	0,30	Franco Argilo Arenosa	0,23

Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

3.5 Determinação de características produtivas e biométricas do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público

A colheita foi realizada manualmente, 240 dias após do plantio. Para a análise de desenvolvimento da planta foram determinadas as características produtividade (PROD), fitomassa fresca (MF), fitomassa seca (MS), altura da planta (AP), comprimento do cladódio (C) e número de cladódio (NC), como apresentado na Figura 10.

Figura 10. Pesagem da fitomassa fresca (A); corte do cladódio para posterior secagem (B); amostras secas e trituradas (C); preparo das soluções para determinação da fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro (D).

A.



B.



C.



D.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Na avaliação da qualidade da cactácea produzida, foram realizadas análises bromatológicas e químicas no tecido vegetal das plantas com a determinação dos parâmetros: fibra em detergente ácido (FDA); fibra em detergente neutro (FDN); proteína bruta (PB);

nitrogênio (N); fósforo (P); sódio (Na); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn) e cobre (Cu) conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (SILVA, 2009) e Detmann, et al. (2012).

A proteína bruta (PB) foi calculada através da Equação 4, conforme Detmann et al. (2012).

$$PB = \frac{N}{10} \cdot 6,25 \quad (4)$$

Em que:

PB – proteína bruta, %; e

N – nitrogênio, g.kg⁻¹.

3.6 Experimentação e análises estatísticas

Os dados das características físico-químicas da água residuária de laticínios e água de abastecimento público foram submetidos à análise estatística descritiva, por meio da determinação da média e desvio padrão.

Os dados referentes as características do solo e as características morfogênicas, bromatológicas e químicas do mandacaru sem espinho foram submetidos à análise de variância pelo programa computacional SISVAR (Sistemas para Análises de Variância) desenvolvido por Ferreira (2011), realizando teste de Tukey e contrastes ortogonais para comparação múltipla das médias (MESQUITA, 2015).

Os contrastes foram: 1) tratamento T5 versus demais tratamentos (T1, T2, T3 e T4); 2) tratamento 4 versus tratamentos T1, T2 e T3); 3) tratamento T3 versus tratamentos T1 e T2 e 4) tratamento T2 versus tratamento T1. A combinação dos contrastes com as médias dos tratamentos foi expressa da seguinte forma, conforme proposto por Mesquita (2015):

$$C1 = 12 m_1 + 12 m_2 + 8 m_3 + 10 m_4 - 42 m_5$$

$$C2 = 30 m_1 + 30 m_2 + 20 m_3 - 80 m_4$$

$$C3 = 6 m_1 + 6 m_2 - 12 m_3$$

$$C4 = 6 m_1 - 6 m_2$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características do efluente de laticínios e da água de abastecimento público

A Tabela 9 apresenta as características físico-químicas do efluente de laticínio e da água de abastecimento público utilizados na irrigação do mandacaru sem espinho, durante 240 dias após o plantio. De acordo com Qasim e Mane (2013), os efluentes de laticínios são caracterizados por conter elevadas concentrações de nutrientes orgânicos e inorgânicos.

A aplicação de águas residuárias no solo fornece umidade e nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel vital na produtividade das culturas e estabilização da produção (NSW, 2010).

O pH do efluente de laticínio caracterizou-se como ligeiramente alcalino, conforme Qasim e Mane (2013), apresentando valor médio de 7,88. Marques et al. (2016) obtiveram valor semelhante para o pH da água residuária de laticínios (7,85). Ao avaliar as características do efluente, Qasim e Mane (2013) obtiveram valor médio do pH de 7,10.

Os valores do pH estão dentro dos padrões normativos para lançamento de efluentes em corpos hídricos, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430, ao qual limita uma faixa de pH entre 5 a 9 (BRASIL, 2011a).

Almeida (2010) descreve que o pH para água de irrigação deve estar entre 6,5 e 8,4 dito como intervalo normal. Valores semelhantes foram descritos por NSW (2010), ao qual considera efluentes aceitáveis para irrigação aqueles que apresentam pH com variações 6,5 a 8,5.

Levando em consideração o risco de entupimento dos gotejadores no sistema de irrigação, o pH tanto do EL quanto da AA apresentam um severo risco de entupimento, porquanto o pH dos mesmos foram superiores a 7,5 (BUCKS et al., 1979). De acordo com Marques et al. (2016), este fato ocorre devido a maior susceptibilidade ao desenvolvimento de precipitados.

NSW (2004) relata que se o efluente for muito ácido, apresentando pH inferior a 5, ou muito alcalino, com pH superior a 8,5, pode afetar a disponibilidade de nutrientes e outros elementos para as plantas. Dessa forma, tanto o efluente de laticínios quanto a água de abastecimento público encontram-se dentro dos valores permitidos para irrigação.

Tabela 9. Características físico-químicas do efluente de laticínios tratado (EL) e da água de abastecimento público (AA) e respectivos valores médios (M) e desvios padrão (DP).

Características	01/06/2015		26/08/2016		17/12/2016		M ± DP	
	EL	AA	EL	AA	EL	AA	EL	AA
pH	7,70	8,50	7,60	7,91	8,35	8,49	7,88 ± 0,41	8,30 ± 0,34
CE (dS.m ⁻¹)	4,20	0,51	5,15	0,59	4,45	0,76	4,60 ± 0,49	0,62 ± 0,13
DBO ₅ ²⁰ (mg.L ⁻¹)	1190	NR	2433	NR	889	NR	1504,00 ± 818,49	NR
DQO (mg.L ⁻¹)	1710	NR	3914	NR	2288	NR	2637,33 ± 1142,77	NR
N (mg.L ⁻¹)	53	NR	45	NR	50	NR	49,33 ± 4,04	NR
PO ₄ ⁻ (mg.L ⁻¹)	30	NR	45	NR	42	NR	39,00 ± 7,94	NR
ST (mg.L ⁻¹)	4756	460	5420	520	4628	576	4934,67 ± 425,16	518,67 ± 58,01
SS (mg.L ⁻¹)	665	20	840	14	640	12	715,00 ± 108,97	15,33 ± 4,16
SD (mg.L ⁻¹)	4091	440	4580	506	3988	564	4219,67 ± 316,28	503,33 ± 62,04
Ca ²⁺ (mmolc.L ⁻¹)	13,20	0,90	20,00	1,20	13,10	2,70	15,43 ± 3,96	1,60 ± 0,96
Mg ²⁺ (mmolc.L ⁻¹)	20,70	0,20	25,00	0,80	19,90	2,20	21,87 ± 2,74	1,07 ± 1,03
Na ⁺ (mmolc.L ⁻¹)	23,00	5,79	30,20	4,72	43,37	9,13	32,19 ± 10,33	6,55 ± 2,30
K ⁺ (mmolc.L ⁻¹)	20,20	2,03	23,18	1,66	19,54	3,55	20,97 ± 1,94	2,41 ± 1,00
RAS (mmolc.L ⁻¹) ^{0,5}	5,59	7,81	6,40	4,72	10,70	5,83	7,56 ± 2,75	6,12 ± 1,57
Cl ⁻ (mmolc.L ⁻¹)	38,00	5,00	40,00	3,40	42,00	7,20	40,00 ± 2,00	5,20 ± 1,91
CO ₃ ⁻ (mmolc.L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
HCO ₃ ²⁻ (mmolc.L ⁻¹)	13,20	4,00	22,50	4,00	11,20	4,00	15,63 ± 6,03	4,00 ± 0,00
Cu (mg.L ⁻¹)	0,001	0,001	0,0330	0,001	0,000	0,002	0,01 ± 0,02	0,00 ± 0,00
Zn (mg.L ⁻¹)	0,0457	0,003	0,0377	0,002	0,1261	0,001	0,07 ± 0,05	0,00 ± 0,00
Mn (mg.L ⁻¹)	0,010	0,025	0,110	0,032	0,008	0,125	0,04 ± 0,06	0,06 ± 0,06
Fe (mg.L ⁻¹)	0,212	0,182	0,414	0,066	0,083	0,045	0,24 ± 0,17	0,10 ± 0,07
Ni (mg.L ⁻¹)	0,0030	0,001	0,045	0,002	0,000	0,001	0,02 ± 0,03	0,00 ± 0,00
Cd (mg.L ⁻¹)	0,002	0,000	0,013	0,000	0,001	0,000	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,00
Pb (mg.L ⁻¹)	0,076	0,000	0,140	0,000	0,060	0,000	0,09 ± 0,04	0,00 ± 0,00

Nota: ST – sólidos totais; SS – sólidos suspensos; SD – sólidos dissolvidos; RAS – Razão de adsorção de sódio; NR – não realizada.

Os valores obtidos para CE do efluente, média de $4,60 \text{ dS.m}^{-1}$, foram superiores ao estabelecido pela Portaria nº 154/2002, que estabelece um limite de $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ para reúso (CEARÁ, 2002). Ao avaliar a CE do efluente de laticínios, Marques et al. (2016) obtiveram valor médio de $1,88 \text{ dS.m}^{-1}$, atendendo os quesitos estabelecidos para utilização na agricultura.

De acordo com Almeida (2010), o efluente de laticínios pode ser classificado como água de salinidade muito alta, porquanto encontra-se entre $2,25$ e $5,0 \text{ dS.m}^{-1}$. Conforme os critérios de classificação quanto ao risco de entupimento estabelecidos por Capra e Scicolone (1998), a CE do efluente de laticínios nesta pesquisa apresenta um risco severo.

A água de abastecimento público está dentro do intervalo usual para água de abastecimento, de 0 a 3 dS.m^{-3} . A mesma apresentou CE média de $0,62 \text{ dS.m}^{-3}$ classificando-se como água de baixa salinidade, apresentando baixo risco de obstrução dos gotejadores (CAPRA; SCICOLONE, 1998; ALMEIDA, 2010).

Segundo NSW (2010), os sais dissolvidos aumentam a condutividade da água, elevando o valor da CE, sendo utilizados para avaliar o efluente. Os efluentes salinos podem elevar os níveis de sal solúvel a medida que impedem o crescimento, reduzindo a absorção de nutrientes da planta. Este fato pode favorecer a uma acumulação de nutrientes na área irrigada, e posteriormente, a perdas para fora da área, sendo carregados para as águas superficiais e subterrâneas.

O efluente de laticínio obteve uma DBO variando de 889 a 2433 mg.L^{-1} , com valor médio de 1504 mg.L^{-1} . A DQO apresentou valor médio de 2637 mg.L^{-1} , intercalando entre 1710 a 3914 mg.L^{-1} .

Variações significativas na DBO e DQO foram relatados por vários investigadores de águas residuárias lácteas, alterando entre 95 a 442 mg.L^{-1} para a DBO, e de 135 a 8960 mg.L^{-1} para a DQO (QASIM; MANE, 2013; POKRYWIECKI et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014; FIGUEIREDO et al., 2015).

A razão DQO/QBO foi de $1,75$. Chaiudhari e Dhoble (2010) obtiveram um valor inferior, com razão DQO/QBO de $0,5$. De acordo com os autores, diversos fatores estão associados as variações das características das águas residuárias lácteas, destacando a localização geográfica, condições climáticas, estação do ano, e até mesmo à taxa de transbordo.

A portaria do Ceará (2002) estabelece valores máximos para lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos, determinando um limite de 60 e 200 mg.L^{-1} para os parâmetros DBO e DQO, concomitantemente. Brasil (2011) estabelece limite máximo de 120 mg.L^{-1} para

DBO. Levando em consideração as referidas normatizações, a água residuária de laticínios encontra-se em desacordo com os padrões estabelecidos para seu lançamento em corpos hídricos.

Hena et al. (2015) ressaltam a importância da utilização do efluente de laticínios na produção de biocombustíveis em áreas de vegetação nativas. De acordo com os dados obtidos em estudo, a produção com águas residuárias lácteas promoveu uma remoção superior a 498% da DBO, além da redução significativa dos nutrientes presentes na água.

O nitrogênio apresentou valor médio de 49,33 mg.L⁻¹ estando bem abaixo do obtido por Qasim e Mane (2013) de 120,1 mg.L⁻¹. De acordo com Almeida (2010), o valor do nitrogênio para água de irrigação normalmente é inferior a 50 mg.L⁻¹.

Para a concentração de fosfato, o efluente de laticínios proporcionou uma média de 49 mg.L⁻¹. NSW (2010) frisa a importância de avaliar o teor de fósforo presente em efluentes de laticínios utilizados para fins de irrigação contínua, recomendando a realização de análises da capacidade de adsorção do fósforo no solo, a cada cinco anos.

A concentração de sólidos totais variam na gama de 4628 a 5420 mg.L⁻¹, dentre os quais são compostos por cerca de 640 a 840 mg.L⁻¹ de sólidos em suspensão e 3988 a 4580 mg.L⁻¹ de sólidos dissolvidos. Os sólidos totais não estão em conformidade para lançamento em corpos hídricos, conforme Portaria n° 154, que estipula para efluentes industriais um valor máximo de 100 mg.L⁻¹ (CEARÁ, 2002).

Ao analisar os sólidos presente no efluente de laticínios, Marques et al. (2016) obtiveram 2515 mg.L⁻¹ de sólidos totais, dos quais 965 mg.L⁻¹ de sólidos suspensos e 1550 mg.L⁻¹ de sólidos dissolvidos.

Os sólidos, suspensos e dissolvidos, presente no efluente de laticínios apresenta um severo risco de entupimento para o sistema de irrigação (BUCKS et al., 1979; CAPRA; SCICOLONE, 1998).

NSW (2010) descreve a importância de avaliar a concentração dos sólidos dissolvidos nos resultados da análise efluente, porquanto torna-se necessário realizar o controle da salinidade para apoiar a reutilização sustentável dos efluentes a longo prazo.

Os sólidos dissolvidos da água de abastecimento público (503,33 mg.L⁻¹) estão de acordo com o Padrão de Potabilidade da Água, que determina um valor máximo de 1000 mg.L⁻¹ (BRASIL, 2011b).

De acordo com Bucks et al. (1979), Capra e Scicolone (1998) os sólidos suspensos da água de abastecimento público apresentam baixo risco de obstrução. Do mesmo modo, os sólidos dissolvidos proporcionaram menor risco ao entupimento dos gotejadores.

O aporte de cálcio e magnésio foram em média de 15,43 e 21,87 mmolc.L⁻¹, respectivamente. Marques et al. (2016) ao analisar o efluente de laticínios constataram a presença de 3,38 mmolc.L⁻¹ de cálcio e 1,70 mmolc.L⁻¹ de magnésio.

Segundo os critérios de classificação quanto ao risco de entupimento de gotejadores, o cálcio apresenta um risco moderado e o magnésio um severo risco de obstrução, nos sistemas de irrigação localizada (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Para AA foi constatado, em média, 1,60 mmolc.L⁻¹ de cálcio e 1,07 mmolc.L⁻¹ de magnésio. Almeida (2010) descreve um intervalo usual da água para irrigação de 0 a 20 mmolc.L⁻¹ para o cálcio, e de 0 a 5 mmolc.L⁻¹ para o magnésio. Neste contexto, os referidos parâmetros apresentam conformidades para utilização na irrigação.

Além disso, o cálcio e o magnésio presente na AA não apresentam risco de entupimento para o sistema de irrigação localizada, conforme critérios estabelecidos por Capra e Scicolone (1998).

O sódio no EL apresentou uma quantidade significativa, variando de 23 a 43 mmolc.L⁻¹, com valor médio de 32 mmolc.L⁻¹. Logo, o potássio apresentou um valor médio inferior, equivalente a 20,97 mmolc.L⁻¹. Qasim e Mane (2013) obtiveram 125,4 mg.L⁻¹ de sódio e 78,3 mg.L⁻¹ de potássio, ao analisar as características do efluente de laticínios.

A água de abastecimento comportou 6,55 mmolc.L⁻¹ de sódio, estando dentro dos valores usuais para irrigação, entre 0 e 40 mmolc.L⁻¹. Do mesmo modo, levando em consideração os valores estabelecidos pela Portaria 2914 do MS, que estabelece valor máximo permitido de 8,696 mmolc.L⁻¹ de sódio, a AA encontra-se em conformidade com o instituído (ALMEIDA, 2010; BRASIL, 2011b).

O potássio constituiu 2,41 mmolc.L⁻¹ na AA. Mesquita (2016) ao analisar a AA na mesma região obteve um valor inferior de 0,2 mmolc.L⁻¹. Conforme Almeida (2010), os valores típicos para o elemento na água de irrigação varia de 0 a 0,05 mmolc.L⁻¹.

De acordo com Qasim e Mane (2013), as elevadas concentrações de Na e Cl deve-se ao fato da utilização em grandes quantidades de produtos de limpeza alcalinos nas indústrias lácteas.

NSW (2010) aponta que a quantidade de sódio no efluente, quando comparado com outros sais, devem ser utilizados para medir potenciais impactos de sodicidade, através da Relação de Adsorção de Sódio (RAS).

A RAS constituiu valor médio de 7,56 (mmolc.L⁻¹)^{0,5}, classificando assim o efluente como água com baixo conteúdo de sódio. Dessa forma, a água residuária de laticínios encontra-se na classe C4-S1. Embora a CE tenha sido elevada, classificando a água como de

alta salinidade, o efluente de laticínios não apresenta risco de redução da infiltração, não proporcionando grau de restrição ao uso (ALMEIDA, 2010).

A RAS da AA foi de $6,12 \text{ (mmol}_c\text{.L}^{-1})^{0,5}$ classificando-se, segundo Almeida (2010), como água com baixo conteúdo de sódio (C1-S1), estando dentro do limite usual da água para irrigação ($0 - 15 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1})^{0,5}$.

Conforme NSW (2010), as irrigações contínuas com águas residuárias podem não ser sustentáveis a longo prazo, tornando-se uma preocupação no futuro. Esse fato se deve ao manejo inadequado do solo e a ausência de recomendações agronômicas, causando efeitos negativos sobre a estrutura do solo, resultando na dispersão, drenagem deficiente e por consequência a redução no desenvolvimento das plantas.

O cloreto variou de 38 a $42 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$, com concentração média de $40 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$. Ao analisar o efluente de laticínios, Qasim e Mane (2013) obtiveram um valor médio de $5,3 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ de cloreto. Logo, Oliveira et al. (2014) constataram um valor mais aproximado ao obtido neste trabalho, equivalente a $30 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ de cloreto.

Almeida (2010) descreve que a água para irrigação varia entre 0 e $30 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$. Assim, a AA está dentro dos limites descritos, proporcionando $5,20 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ de cloreto. A AA está em conformidade ainda com a Portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011b), que estipula valor máximo de $7 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ de cloreto. Mesquita (2016) obteve valor médio de $1,56 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ de cloreto para AA da mesma companhia de distribuição.

De acordo com NSW (2004), o cloreto trata-se de um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas. Todavia, os níveis elevado de cloreto dos efluentes podem ser tóxicos a algumas espécies de plantas, sendo as forrageiras uma das mais tolerantes.

Marmioli et al. (2012) ressaltam que o acúmulo de Cl^- presente no efluente de laticínios pode se acumular no solo, ocasionando problemas de toxicidade em regiões onde a taxa de evapotranspiração sobrepõe as precipitações.

Não constatou-se a presença de carbonato (CO_3^-) no efluente lácteo, apresentando somente bicarbonato (HCO_3^{2-}) com valor médio de $15,63 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$. Conforme Almeida (2010), os valores de carbonato e bicarbonato variam, respectivamente, entre $0 - 0,1 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$ e $0 - 10 \text{ mmol}_c\text{.L}^{-1}$.

Elevadas concentrações de bicarbonato no efluente podem favorecer a concentração de bicarbonato na água do solo, concentrando-se devido a evapotranspiração, ocorrendo um aumento nas concentrações de cálcio e magnésio, precipitando os sais insolúveis (NSW, 2004).

Não foi constatado a presença de carbonato na água de abastecimento, constituída por $4,00 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de bicarbonato, estando dentro dos valores típicos para irrigação (ALMEIDA, 2010). Diferente do obtido, Mesquita (2016) detectou $0,23 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de carbonato e $3,31 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de bicarbonato, na AA da região.

Os micronutrientes, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd e Pb, não apresentaram quantidades significativas, estando em conformidade com os valores estipulados pela Resolução CONAMA 420/2011, bem como, com a Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002; BRASIL, 2011).

Almeida (2010) descreve as concentrações máximas dos microelementos recomendáveis para água de irrigação. Segundo o autor, a utilização consecutiva de águas, onde as características estejam acima dos valores estabelecidos pode ocasionar a bioacumulação desses elementos no solo, favorecendo a fitotoxicidade ao longo do tempo.

Dentre os valores compilados por Almeida (2010), somente o Cd obteve valor próximo as recomendações máximas de $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, tóxico culturas como o feijão, a beterraba e o nabo. Apesar do limite estabelecido ser baixíssimo, a acumulação do cádmio em solos e plantas podem causar perigosos danos aos seres humanos.

Os elementos Cu, Zn, Ni, Cd e Pb não se manifestaram na água de abastecimento público, constituída somente de Fe e Mn, com valores médios equivalente a $0,10$ e $0,06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Brasil (2011b) estipula valores máximos de $0,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ferro e $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de manganês para água potável, estando os valores obtidos em conformidade do a referida portaria. Segundo Almeida (2010), os respectivos valores não apresentam nenhum risco de entupimento para os sistemas de irrigação localizada.

Lu et al. (2016) ao analisarem o efluente de laticínios bruto detectaram a presença de diversos metais, com concentrações de $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de cobre, $1,08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de zinco, $0,24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de chumbo, $0,33 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ferro e $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de manganês.

Dessa forma, a utilização de efluentes de laticínios além de reduzir a quantidade de nutrientes que chegam aos corpos hídricos, minimiza a utilização de água potável, direcionando o uso a finalidades mais nobres. Além disso, favorece as características do solo com a adição de nutrientes e o desempenho das culturas (HAWKE; SUMMERS, 2006).

4.2 Características químicas do solo após fertirrigação com efluente de laticínios e água de abastecimento

A Tabela 10 apresenta os valores médios, coeficiente de variação (%), erro-padrão e probabilidade, obtidos através do Teste de Tukey.

Tabela 10. Características químicas do solo irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público.

Tratamentos	Características químicas do solo								
	pH	CE _{es} dS.m ⁻¹	MO g.kg ⁻¹	P.....mg.dm ⁻³	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺cmolc.dm ⁻³	Mg ²⁺	N g.kg ⁻¹
T1	6,68	0,18a	6,84	23,53	155,79	111,00	2,34	1,48	0,76
T2	6,74	0,24a	8,23	21,37	186,64	148,87	2,76	1,82	0,95
T3	6,90	0,33ab	6,13	24,50	198,57	267,56	2,96	1,90	0,96
T4	6,93	0,33ab	5,49	37,41	221,28	173,77	2,98	2,08	0,94
T5	6,95	0,59b	8,30	19,41	247,45	313,93	3,44	2,10	1,01
Média	6,84	0,33	6,99	25,24	201,94	203,03	2,90	1,88	0,92
CV (%)	3,85	41,97	37,40	49,22	32,64	41,33	27,18	36,88	25,35
Erro-padrão	0,118	0,063	1,171	5,556	29,480	37,53	0,352	1,339	0,105
Probabilidade	0,4086 ^{NS}	0,0030*	0,3726 ^{NS}	0,2166 ^{NS}	0,2828 ^{NS}	0,0077 ^{NS}	0,3154 ^{NS}	0,6263 ^{NS}	0,5053 ^{NS}
Probabilidade dos contrastes (decimal)									
Contraste C ₁ : T5 Vs (T1 + T2 + T3 + T4)	0,2786 ^{NS}	0,0002**	0,2646 ^{NS}	0,2782 ^{NS}	0,0926 ^{NS}	0,0029*	0,0904 ^{NS}	0,3977 ^{NS}	0,3268 ^{NS}
Contraste C ₂ : T4 Vs (T1 + T2 + T3)	0,3321 ^{NS}	0,2206 ^{NS}	0,2283 ^{NS}	0,0393*	0,2240 ^{NS}	0,8311 ^{NS}	0,4387 ^{NS}	0,3253 ^{NS}	0,6497 ^{NS}
Contraste C ₃ : T3 Vs (T1 + T2)	0,1432 ^{NS}	0,1350 ^{NS}	0,3417 ^{NS}	0,7670 ^{NS}	0,4596 ^{NS}	0,0086 ^{NS}	0,3488 ^{NS}	0,5183 ^{NS}	0,4169 ^{NS}
Contraste C ₄ : T2 Vs T1	0,7588 ^{NS}	0,5228 ^{NS}	0,4174 ^{NS}	0,7871 ^{NS}	0,4700 ^{NS}	0,4858 ^{NS}	0,4068 ^{NS}	0,4375 ^{NS}	0,2092 ^{NS}

Nota: T1 – somente água da rede de abastecimento (AA), T2 - 0,1 x LW do EPA mais AA, T3 - 0,2 x LW do EPA mais AA, T4 – 0,3 x LW do EPA mais AA, e T5 - 0,4 x LW do EPA mais AA; pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; MO – Matéria orgânica; P – Fósforo; K – Potássio; Na – Sódio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; N – Nitrogênio.

C₁ = 12 m₁ + 12 m₂ + 8 m₃ + 10 m₄ - 42 m₅; C₂ = 30 m₁ + 30 m₂ + 20 m₃ - 80 m₄; C₃ = 6 m₁ + 6 m₂ - 12 m₃; C₄ = 6 m₁ - 6 m₂

¹ Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. ** e *Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{NS} - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A referida tabela apresenta, ainda, os contrastes de médias dos tratamentos aplicados de acordo com variáveis: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K+), sódio (Na+);

cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e nitrogênio (N) 240 dias após o cultivo do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público em um Argissolo vermelho amarelo.

Conforme exposto na Tabela 10, as características pH, MO, P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e N não apresentaram efeitos significativos para as proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para as variações de pH, entre 6,68 a 6,95, obteve-se um valor médio de 6,84, com CV de 3,85% e erro padrão de 0,118. Estatisticamente, não constatou significância para os contrastes ortogonais.

NSW (2010) expõe que o pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes e outros elementos para as plantas. A acidez pode afetar a solubilidade do alumínio e manganês, podendo intervir no crescimento da planta. De acordo com NSW (2004), a maioria das plantas se adaptam a solos com pH entre 6 e 7,5, porquanto os valores nessa faixa maximiza a disponibilidade de nutrientes, potencializando o desenvolvimento das culturas.

A CE_{es} apresentou significância a 1% de probabilidade, sendo o tratamento T5 o que mais incrementou sais ao solo. O valor médio da CE_{es} foi de $0,33 \text{ dS.m}^{-1}$. Pela análise dos contrastes somente o C1 foi significativo a 1% de probabilidade.

De acordo com NSW (2010), o excesso de sais pode restringir o crescimento das plantas, classificando a salinidade da água como muito baixa para valores menores que $0,65 \text{ ds.m}^{-1}$. Os níveis de salinidade no solo precisam ser avaliados e controlados, visando a redução de impactos potenciais sobre sua estrutura e superfície.

A matéria orgânica não foi significativa, com valores de média, CV e erro padrão de $6,84 \text{ g.kg}^{-1}$, 37,40% e 0,118, respectivamente. Do mesmo modo, não houve significância para os contrastes ortogonais. De acordo com Ribeiro et al. (1999), o valor médio para MO classifica-se como muito baixo.

O fósforo apresentou valor médio de $25,24 \text{ mg.dm}^{-3}$, com CV de 49,22% e erro padrão de 1,171, não apresentando significância estatística. Para o fósforo, somente o contraste ortogonal C2 exibiu significância a 1% de probabilidade.

Os valores de média, CV e erro-padrão para o potássio foram de $201,94 \text{ mg.dm}^{-3}$, 32,64% e 29,5, respectivamente, não apresentando significância estatística. Do mesmo modo, ao observar os contrastes ortogonais para o potássio pode-se constatar que não houve significância a 5% de probabilidade.

A disponibilidade dos elementos potássio e fósforo variam conforme a dinâmica das fontes destes nutrientes quando adicionados ao solo. Conforme Ribeiro et al. (1999), para

classificar os referidos elementos quanto a fertilidade deve-se levar em consideração o teor de argila. O solo em estudo apresentou um valor médio de 14,8% de argila, classificando o teor de fósforo como médio e muito bom para o potássio.

As concentrações de sódio no solo obtiveram valor médio de 203,03 mg.dm⁻³, com CV de 41,33%. Estatisticamente, o contraste ortogonal C1 foi significativo a 1% de probabilidade.

A taxa de acumulação de sais depende de inúmeros fatores, dentre os quais a salinidade do efluente e precipitação pluviométrica, sendo o sódio o elemento de maior relevância, porquanto proporciona à dispersão das argilas (NSW, 2004).

Os teores de cálcio no solo apresentaram média de 2,90 cmol_c.dm⁻³, com CV de 27,18% e erro-padrão equivalente a 0,352. Com relação aos contrastes, não houve significância estatística para nenhum contraste ortogonal. Para o magnésio não houve significância estatística, com média de 1,88 cmol_c.dm⁻³. Analisando os contrastes, pode-se observar que nenhum deles foi significativo.

Segundo Ribeiro et al. (1999), a acidez do solo se relaciona com a disponibilidade de cálcio e de magnésio. De acordo com os dados obtidos, o teor de cálcio classifica-se como bom e o magnésio como muito bom.

O nitrogênio não teve significância a 5% de probabilidade, comportando um valor médio de 0,92 g.kg⁻¹. Os contrastes ortogonais também não apresentaram significância estatística. A determinação do nitrogênio no solo deve ser utilizada para calcular o balanço de nutrientes, bem como sua disponibilidade para as culturas (NSW, 2010).

De acordo com NSW (2010), concentrações de nitrogênio no solo variando entre 0,0012 a 0,0045 g.kg⁻¹ necessita de uma investigação mais aprofundada, averiguando o tipo e textura do solo.

No contexto geral, NSW (2004) recomenda fazer a leitura do pH e CE_{es}, tanto em superfície quanto em profundidade, em período anual. Do mesmo modo, o nitrato deve ser monitorado todos os anos, ao longo do perfil irrigado com efluente, em quatro profundidades.

Para o fósforo e sódio recomenda-se avaliar as alterações, anualmente, na superfície do solo, e a cada três em quatro profundidades para o sódio. Em relação aos metais pesados, recomenda-se avaliar o solo somente a cada dez anos (NSW, 2004).

Diante do exposto, a CE_{es} do solo necessita de um monitoramento mais frequente, visando o desenvolvimento sustentável do solo, através do controle das características químicas e, conseqüentemente, físicas. Do mesmo modo, há necessidade de avaliar as concentrações de nitrogênio com certa frequência, com o intuito de evitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

4.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CEes), Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P) e Potássio (K)

De acordo com o exposto na Figura 11, pode-se observar as variações do pH ao longo do perfil do solo 240 dias após o cultivo do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público.

O pH variou sutilmente com os tratamentos aplicados indicando, possivelmente, que o efluente de laticínios não interfere de forma significativa na alteração da referida característica, sendo T2 o tratamento que mais se aproximou da testemunha (T1) em profundidade.

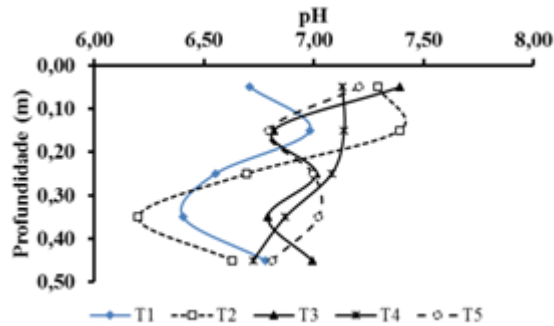
O pH variou entre 6,2 e 7,4 podendo ser classificado assim, conforme Ribeiro et al. (1999), como acidez e alcalinidade baixa. Do ponto de vista agrônomo, o solo apresenta um pH alto a muito alto. De acordo com Mesquita (2016), o pH entre 6,0 e 6,5 são considerados como ótimo, porquanto ocorre a disponibilidade máxima de macronutrientes, além de limitar a disponibilidade dos metais pesados presentes no solo.

Ao analisar as características do solo após longo anos de irrigação com efluente de laticínios, Oliveira et al. (2014) constaram que os valores de pH aumentaram ao longo do perfil do solo, apresentando valor máximo na profundidade de 0,40–0,50 m, caracterizando o solo como de alcalinidade elevada.

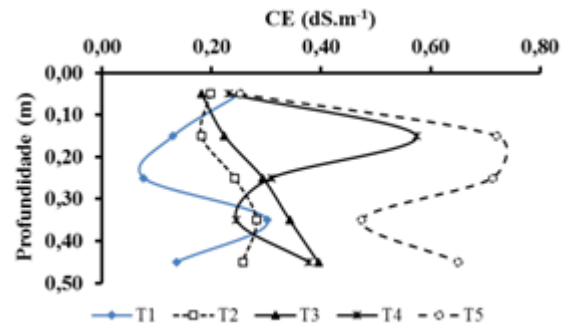
A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) apresentou comportamento variado, sendo os tratamentos T4 e T5 os que proporcionaram maiores concentrações, possivelmente, devido ao grande aporte de sais presente na água residuária de laticínios. Mesquita (2016) expõe que as elevadas concentrações de sais no solo favorecem o processo de dispersão das argilas, reduzindo a CEes ao longo do perfil.

Figura 11. Comportamento do pH (A), CE_{es} (B), matéria orgânica (C), fósforo (D) e potássio (E) cultivado com mandacaru sem espinho, irrigado com proporções do efluente de laticínios e água de abastecimento público em cinco profundidades, aos 240 dias após ao plantio.

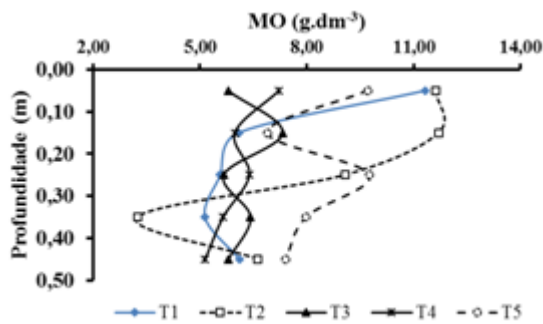
A.



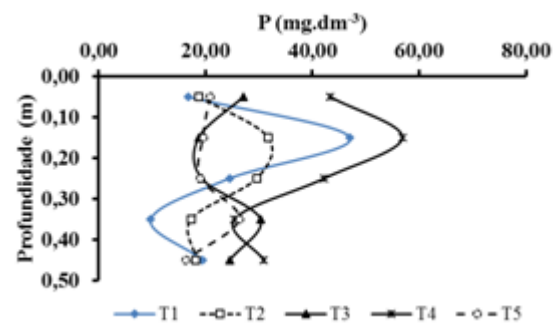
B.



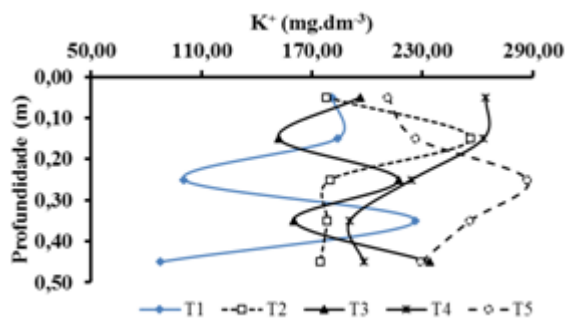
C.



D.



E.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

Houve variações para o T4 de 0,23 a 0,53 $dS.m^{-1}$, nas camadas de 0,00 a 0,20 m, reduzindo a CE_{es} nas profundidades de 0,20 a 0,30 m. Do mesmo modo, o T5 variou de 0,25 a 0,71 $dS.m^{-1}$ nas camadas de 0,00 a 0,20 m, reduzindo nas camadas de 0,20 e 0,30 m aumentando, posteriormente, nas demais profundidades.

A concentração de sais na zona radicular pode aumentar progressivamente, a não ser que a lixiviação e a drenagem reduzam os teores na superfície do solo, como ocorreu no perfil em estudo. NSW (2010) descreve que a salinidade do solo para algumas áreas de reúso de

efluentes causam impactos principalmente nas zonas de raízes, intervindo no rendimento das culturas sensíveis a elevadas concentrações de sais.

Os teores de matéria orgânica (MO) variaram em profundidade, sendo T2 o tratamento que acrescentou maior teor de MO, tanto na superfície quanto em camadas, principalmente de 0,00 a 0,20 m, reduzindo nas camadas subjacentes. O T2 variou de 11,62 g.dm⁻³ na superfície, chegando a 3,26 g.dm⁻³ na camada de 0,30 a 0,40 m. A testemunha (T1) foi o tratamento que mais se aproximou do T2, alterando entre 11,32 e 5,15 g.dm⁻³.

Conforme Ribeiro et al. (1999), as concentrações de MO obtidos nas camadas superficiais são classificados como baixo, porquanto variaram de 7,22 a 11,62 g.dm⁻³, com exceção do T3 que apresentou um teor de 5,79 g.dm⁻³, caracterizando-se como muito baixo.

Mesquita (2016) ao avaliar o perfil do solo, após cultivo de capim elefante irrigado com percolado de aterro sanitário, constatou a um maior teor de MO na superfície do solo, havendo redução ao longo dos perfis, em todos os tratamentos aplicados. O autor ressalva que houve redução da MO a medida que aumentou as concentrações de percolado.

O maior aporte de fósforo ocorreu com aplicação do tratamento T4, tanto em superfície quanto em profundidade. A camada de 0,10 a 0,20 m predominou entre as demais, com teor equivalente a 56,83 mg.dm⁻³. Do mesmo modo, Oliveira et al. (2014) determinou a concentração de fósforo em várias profundidades, obtendo uma maior concentração 520,70 mg.dm⁻³ de fósforo, na profundidade 0,00 – 0,10 m, reduzindo em profundidade.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), o fósforo se movimenta pouco na maioria dos solos, em especial nos argissolos, devido à adsorção e à precipitação do elemento com os demais constituintes do solo. Mesquita (2016) associa a disponibilidade do P com a neutralidade do pH, porquanto a acidez do solo favorece a formação de compostos de baixa solubilidade, ocorrendo reações do elemento com íons de ferro e alumínio.

Vale ressaltar que, elevados teores de fósforo podem causar poluição nas águas superficiais e subterrâneas carreados pelo escoamento superficial e processos erosivos do solo. A erosão do solo e a remoção de culturas são as principais formas de perda de fósforo do solo. A lixiviação através do perfil do solo não ocorre a curto ou médio prazo, havendo necessidade de preparar um balanço de massa para o fósforo uma base anual ou de três a cinco anos (NSW, 2010).

O potássio se destacou na camada superficial T4, sobressaindo entre os demais tratamentos, proporcionando 264,46 mg.dm⁻³ de potássio ao solo, reduzindo em profundidade. Todavia, T5 obteve valor máximo nas camadas de 0,20 a 0,30 m, atribuindo 286,92 mg.dm⁻³ de potássio, reduzindo ao longo das camadas seguintes.

Lima et al. (2013) analisaram uma área irrigada com efluente lácteo e constataram a redução do potássio ao longo do perfil estudado, com valor máximo de $844,56 \text{ mg.dm}^{-3}$ em superfície e mínimo de $277,61 \text{ mg.dm}^{-3}$ entre 0,40 e 0,50 m. Apenas o tratamento T1 reduziu a medida que aumentou a profundidade do solo.

De acordo com a fertilidade do solo, os teores de potássio classificam-se como muito bom (RIBEIRO et al., 1999). O autor expõe, ainda, que o elemento movimenta-se de forma significativa em solos com baixa Capacidade de Troca Catiônica (CTC), movimentando verticalmente e lateralmente, mesmo em solos argilosos. Com isso, recomenda-se a aplicação parcelada ao longo do ciclo da cultura.

4.2.2 Sódio (Na); Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Nitrogênio (N)

A Figura 12 apresenta o comportamento do sódio, cálcio, magnésio e nitrogênio ao longo do perfil do solo, 240 dias após o plantio do mandacaru sem espinho irrigado com diferentes proporções de efluente de laticínios e águas de abastecimento público.

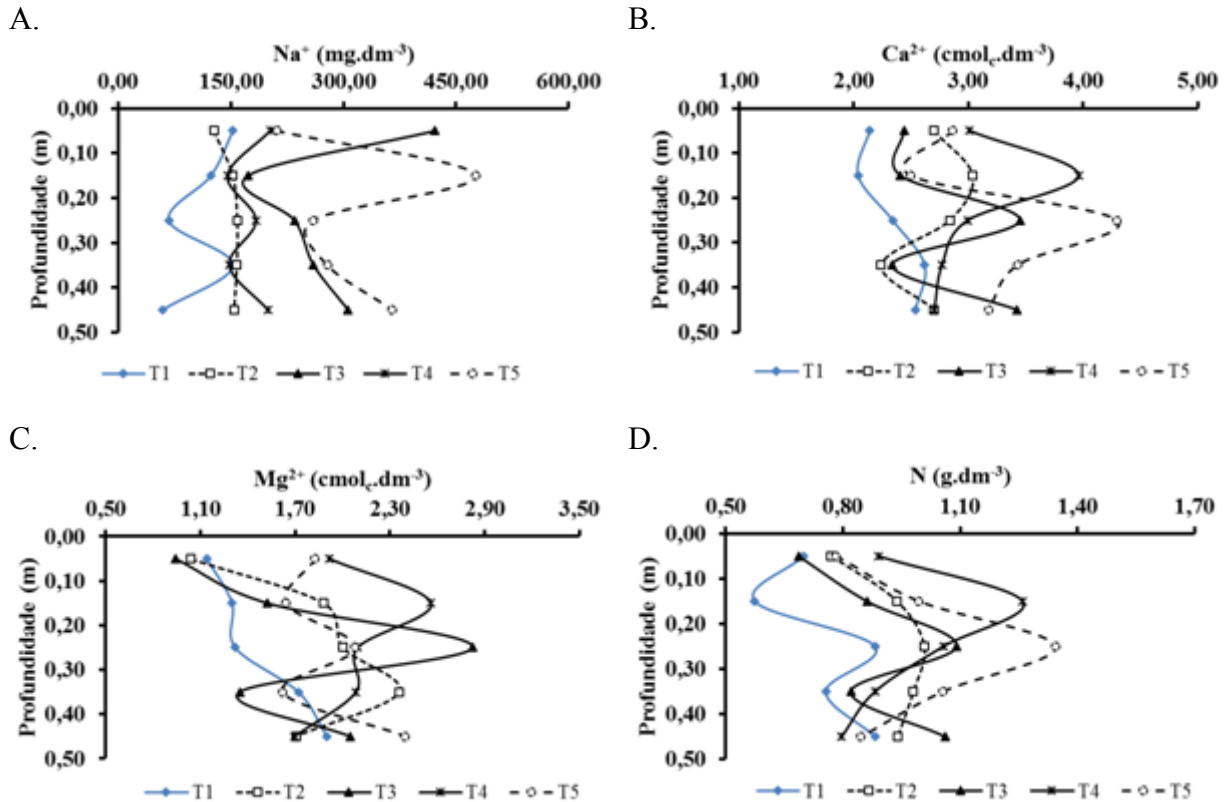
Em relação a concentração de sódio, o tratamento T2 se manteve praticamente constante, quando comparado aos demais, inclusive a testemunha. Em superfície o T3 adicionou $422,05 \text{ mg.dm}^{-3}$ de sódio. Todavia, T5 aumentou em profundidade chegando a $476,72 \text{ mg.dm}^{-3}$.

Mesquita (2016) observou que ao aumentar as concentrações do percolado de aterro sanitário houve um maior incremento de sódio ao solo, apresentando concentrações superiores a testemunha, principalmente em superfície. O autor associa este fato ao teor de cátions trocáveis presente no percolado, em contrapartida com a alcalinidade do pH.

Houveram baixas variações ao longo do perfil por meio da aplicação do T4, variando de $145,47$ a $202,26 \text{ mg.dm}^{-3}$. Oliveira et al. (2014) constataram maior concentração de sódio na camada de 0,0 a 0,10 m de profundidade, com valor de $315.653 \text{ mg.dm}^{-3}$, reduzindo nas camadas seguintes.

Lima et al. (2013) obtiveram um maior incremento de sódio na camada com maior teor de matéria orgânica. Este fato assemelha-se ao alcançado em estudo, porquanto analisando as características iniciais do solo pode-se observar um maior teor de MO nas camadas de 0,10 a 0,20 m, região onde houve um maior acúmulo de sódio.

Figura 12. Comportamento do sódio (A), cálcio (B), magnésio (C) e nitrogênio (D) cultivado com mandacaru sem espinho, irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público em cinco profundidades, aos 240 dias após do plantio.



Fonte: Arquivos da pesquisadora (2017).

De acordo com NSW (2010), elevadas concentrações de sódio acarretam em problemas como a dispersão do solo, redução da infiltração de água, favorece a formação de crostas superficiais e intensifica os processos de erosão.

Em superfície, o tratamento T4 atribuiu $3,01 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ de cálcio alcançando valor máximo de $3,96 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ na camada de 0,10 a 0,20 cm, reduzindo conseguinte nas demais camadas, para o mencionado tratamento.

Ao utilizar efluente de laticínios na irrigação do capim elefante, Lima et al. (2013) verificaram valores de cálcio variando de $7,56$ a $6,89 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$, reduzindo consecutivamente a medida que aumentava a profundidade do solo.

Os valores do cálcio em superfície variaram de $2,44$ a $3,01 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ para os tratamentos T2, T3, T4 e T5, classificando-se de acordo Ribeiro et al. (1999) como bom. Em profundidade, T5 incrementou $4,30 \text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ de cálcio, nas profundidades de 0,20 a 0,30 m, classificando-se como muito bom (RIBEIRO et al., 1999).

Do mesmo modo, Mesquita (2016) constatou variações ao longo do perfil de um argissolo, com maiores concentrações nas camadas de 0,10 a 0,30 m com o aumento das concentrações do percolado de aterro sanitário, sendo T5 o tratamento que proporcionou maior aporte de cálcio ao solo.

De acordo com Ribeiro (1999), o cálcio fica retido nas superfícies negativamente carregadas da argila, este fato pode explicar as maiores concentrações desses íons nas camadas subsuperficiais, porquanto há um maior teor de argila de 0,20 a 0,40 m de profundidade.

Ao analisar o comportamento do magnésio, o mesmo apresentou amplas oscilações com a aplicação dos tratamentos. Nas camadas superficiais houve maior aporte de nutriente em T4, iniciando com $1,92 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e alcançando $2,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ entre 0,10 e 0,20 m.

Apesar de T3 ter constituído somente $0,94 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ em superfície, quantidade inferior ao apresentado pela testemunha T1 de $1,88 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, entre 0,20 e 0,30 m implementou $2,82 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, valor máximo para o referido parâmetro.

No estudo de Mesquita (2016) houve lixiviação do magnésio para as camadas subsuperficiais, com destaque para as parcelas que receberam o tratamento T5, acumulando-se nas camadas de 0,40 a 0,50.

Conforme classificação de Ribeiro et al. (1999), os teores de magnésio classificam-se como muito bom para T4 e T5 em superfície, bem como para T3 em profundidade. Os demais tratamentos são classificados como bom.

Do mesmo modo que o Ca^{2+} , o Mg^{2+} adere as superfícies negativamente carregadas da argila, proporcionando uma maior concentração do elemento onde ocorre uma maior predominância de argila, no caso em estudo entre 0,20 e 0,40 m de profundidade (RIBEIRO et al., 1999).

Hawke e Summers (2006) associam o acúmulo de Ca^{2+} e o Mg^{2+} em profundidade devido ao acúmulo de K na superfície que favorece a lixiviação de outras bases trocáveis, porquanto tais cátions competem com o K. Este fato pode favorecer o processo de dispersão das argilas, prejudicando as propriedades físicas do solo.

Apesar do tratamento T5 ter apresentado um teor de $1,34 \text{ g}.\text{dm}^{-3}$ de nitrogênio, nas camadas iniciais seu valor foi equivalente a $0,78 \text{ g}.\text{dm}^{-3}$, sendo o T4 o que mais favoreceu o aporte de nitrogênio nas camadas superficiais, constituindo de 0,89 a $1,26 \text{ g}.\text{dm}^{-3}$, reduzindo em profundidade.

Ao avaliar as características de um argissolo irrigado com efluente de laticínios após tratamento, Oliveira et al. (2014) constataram maior teor de nitrogênio na camada superficial, equivalente a $2,17 \text{ g.kg}^{-1}$, reduzindo em profundidade.

Segundo Hawke e Summers (2006), os pesquisadores em sua maioria constataram o aumento de N no solo, após utilização de efluentes de laticínios como fonte alternativa para deposição de nutrientes e suprimento da demanda hídrica das culturas.

NSW (2010) ressalta a importância da determinação do nitrogênio, destacando a alta mobilidade do nitrato no perfil do solo, sendo um importante indicador de perdas de nitrogênio abaixo da zona radicular, com potencialidade de movimentar-se para as águas superficiais e subterrâneas.

Apesar da facilidade de perdas por lixiviação, o nitrogênio apresenta flexibilidade proporcionada pela fertirrigação, através do parcelamento da aplicação do elemento N, além estar prontamente disponível para absorção pelas plantas (RIBEIRO et al., 1999).

Neste contexto, faz-se necessário realizar o monitoramento periódico das características químicas do solo, porquanto as alterações nessas propriedades favorecem as alterações nas propriedades físicas do solo (HAWKE; SUMMERS, 2006).

4.3 Características morfométricas do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público

As características morfométricas apresentam resultados significativos para as características produtividade (PROD), massa fresca (MF), massa seca (MS), altura da planta (AP), comprimento do cladódio (C) e número de cladódio (NC), conforme exposto na Tabela 11.

O indicador PROD apresentou um maior rendimento com a aplicação do tratamento T4, alcançando produtividade de $28,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Do mesmo modo, pôde-se obter uma maior MF e a MS por meio da aplicação do tratamento T4, obtendo $2,8$ e $0,2 \text{ kg.m}^{-2}$, respectivamente.

A produtividade, a matéria fresca e a matéria seca apresentaram significância a 1% de probabilidade em todos os contrastes ortogonais.

Tabela 11. Características produtivas e morfológicas do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínio e água de abastecimento público.

Tratamentos	Características produtivas e morfológicas					
	PROD (Mg.ha ⁻¹)	MF (Kg.m ⁻²)	MS (Kg.m ⁻²)	AP (m)	C (m)	NC (unid.)
T1	6,136a	0,613a	0,048a	0,301a	0,219ab	1,100
T2	11,664b	1,166b	0,079b	0,289a	0,206a	1,500
T3	18,728c	1,873c	0,126c	0,363ab	0,246ab	1,360
T4	28,172d	2,817d	0,206d	0,447b	0,310b	1,640
T5	10,380a	1,038b	0,065ab	0,355ab	0,240ab	1,380
Média	15,016	1,502	0,105	0,351	0,244	1,396
CV (%)	6,85	6,85	8,89	18,27	20,43	20,93
Erro-padrão	0,460	0,046	0,004	0,029	0,022	0,131
Probabilidade	0,000**	0,000**	0,000**	0,0102*	0,040*	0,0998 ^{NS}
Probabilidade dos contrastes (decimal)						
Contraste C ₁ : T5 Vs (T1 + T2 + T3 + T4)	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,7395 ^{NS}	0,9414 ^{NS}	0,9337 ^{NS}
Contraste C ₂ : T4 Vs (T1 + T2 + T3)	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0009**	0,0034*	0,0476*
Contraste C ₃ : T3 Vs (T1 + T2)	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0693 ^{NS}	0,2314 ^{NS}	0,7127 ^{NS}
Contraste C ₄ : T2 Vs T1	0,0000**	0,0000**	0,0001**	0,7860 ^{NS}	0,6904 ^{NS}	0,0459*

Nota: T1 – somente água da rede de abastecimento (AA), T2 - 0,1 x LW do EPA mais AA, T3 - 0,2 x LW do EPA mais AA, T4 – 0,3 x LW do EPA mais AA, e T5 - 0,4 x LW do EPA mais AA; PROD – Produtividade; MF – Massa Fresca; MS – Massa Seca; AP – Altura da Planta; C – Comprimento do Cladódio; NC – Número de Cladódio obtido por planta;

$C_1 = 12 m_1 + 12 m_2 + 8 m_3 + 10 m_4 - 42 m_5$; $C_2 = 30 m_1 + 30 m_2 + 20 m_3 - 80 m_4$; $C_3 = 6 m_1 + 6 m_2 - 12 m_3$; $C_4 = 6 m_1 - 6 m_2$

¹ Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. ** e * Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{NS} - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Cavalcanti e Resende (2006) obtiveram valores de matéria fresca variando entre 0,095 a 1,482 kg, e massa seca de 0,018 a 0,280 kg. De acordo com a EMPARN (2013), diversos fatores estão relacionados as variações nas porcentagens do material fresco e seco, como as condições climáticas da região, a idade da planta e época do ano.

Germano et al. (1999) expõe que as cactáceas comumente apresentam 10% de matéria seca, sendo o mandacaru e a coroa de frade as espécies que possuíram maior percentual de MS. Os autores ressaltam que o alto conteúdo de água das cactáceas caracteriza-se como um alimento estratégico nos períodos de estiagem. Em contrapartida, pode provocar baixas ingestões de MS.

As características AP e C não divergiram muito entre os tratamentos, todavia com a aplicação do T4 pôde-se alcançar a altura máxima da planta e comprimento de cladódio de

0,447 e 0,310 m, respectivamente. Em relação aos contrastes ortogonais houve significância somente no C2 a 5% para AP e 1% de probabilidade para o C2.

A altura média do mandacaru sem espinho foi de 0,351 m. EMBRAPA (2012) obteve altura média da planta de 0,185 m, ao longo de 90 dias. Ao analisar o desenvolvimento do mandacaru sem espinho sob diferentes porções de substrato, durante 12 meses, Cavalcanti e Resende (2006) obtiveram comprimentos dos cladódios variando entre 0,117 a 1,025 m.

O número de cladódio (NC) foi não significativo pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, com valor médio de 1,4 cladódios por planta.

Cavalcanti e Resende (2006) obtiveram resultados semelhantes em relação à média do número de cladódio, apresentando 1,3 unidades por planta. Os contrastes ortogonais C2 e C4 foram significativos a 1% de probabilidade.

De acordo com Marmioli et al. (2012), a irrigação com efluente de laticínios favorecem o crescimento das plantas e o aumento da biomassa nutritiva, aumentando a ciclagem de nutrientes. Chaiudhari e Dhoble (2010) obtiveram excelentes resultados utilizando efluente de laticínio para irrigação de pastagem, recomendando o uso para irrigação de jardins.

Fiasconaro et al (2015) obtiveram excelentes resultados ao avaliarem o efeito da aplicação de compostagem da gordura do leite no cultivo de mudas da pimenta, constatando um aumento no diâmetro, altura da planta, área foliar e concentrações totais de clorofilas.

4.4 Características bromatológicas e composição nutricional do mandacaru sem espinho irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público

As características bromatológicas e o estado nutricional do mandacaru sem espinho, 240 dias após o plantio, estão expostas na Tabela 12. As características fibra a detergente ácido (FDA), fibra a detergente neutro (FDN), potássio (K) e magnésio (Mg) não apresentaram significância a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os valores médios para FDA e FDN foram de 20,36 e 27,03%, respectivamente. A EMPARN (2013) exibe valores médios dessas características para o mandacaru sem espinho superiores aos obtidos na presente pesquisa, sendo 41,61% para FDA e 53,02% para FDN. De acordo com os dados referentes ao contraste, as variáveis FDA e FDN apresentaram significância a 1% de probabilidade em C2 e C4, respectivamente.

Tabela 12. Características bromatológicas e composição nutricional do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínio e água de abastecimento público.

Tratamentos	Características bromatológicas e químicas dos cladódios								
	FDA	FDN	PB	N	P	Na	K	Ca	Mg
	..... % .....		.....g.kg ⁻¹						
T1	21,58	25,91	15,37ab	24,29ab	0,03ab	247,20ab	3,21	107,98ab	37,44
T2	20,71	28,75	15,09ab	24,19ab	0,05b	164,50a	5,28	139,93b	44,38
T3	21,47	27,86	12,72a	20,34a	0,04ab	179,37a	7,98	123,63b	41,82
T4	18,93	27,03	17,57b	28,11b	0,03ab	211,59ab	3,77	82,33a	29,77
T5	19,10	25,62	16,13b	25,81b	0,03a	311,65b	2,36	121,00b	38,56
Média	20,36	27,03	15,37	24,61	0,04	222,86	4,52	114,97	38,59
CV (%)	9,62	7,04	10,04	10,04	29,82	25,59	80,51	16,70	19,56
Erro-padrão	0,876	0,851	0,690	1,104	0,005	25,509	1,628	8,589	3,375
Probabilidade	0,1272 ^{NS}	0,0955 ^{NS}	0,0025 ^{**}	0,0025 ^{**}	0,0162 [*]	0,0063 ^{**}	0,1701 ^{NS}	0,0031 ^{**}	0,0667 ^{NS}

Probabilidade dos contrastes (decimal)

Contraste C ₁ : T5 Vs (T1 + T2 + T3 + T4)	0,1279 ^{NS}	0,0872 ^{NS}	0,3010 ^{NS}	0,3059 ^{NS}	0,0493 [*]	0,0015 ^{**}	0,1931 ^{NS}	0,4764 ^{NS}	0,7990 ^{NS}
Contraste C ₂ : T4 Vs (T1 + T2 + T3)	0,0382 [*]	0,6670 ^{NS}	0,0019 ^{**}	0,0020 ^{**}	0,0955 ^{NS}	0,6816 ^{NS}	0,4665 ^{NS}	0,0007 ^{**}	0,0103 [*]
Contraste C ₃ : T3 Vs (T1 + T2)	0,7615 ^{NS}	0,6185 ^{NS}	0,0090 ^{**}	0,0087 ^{**}	0,9606 ^{NS}	0,4092 ^{NS}	0,0787 ^{NS}	0,9755 ^{NS}	0,8284 ^{NS}
Contraste C ₄ : T2 Vs T1	0,4910 ^{NS}	0,0314 [*]	0,7774 ^{NS}	0,8006 ^{NS}	0,0078 ^{**}	0,0358 [*]	0,3813 ^{NS}	0,0182 [*]	0,1650 ^{NS}

Nota: T1 – somente água da rede de abastecimento (AA), T2 - 0,1 x LW do EPA mais AA, T3 - 0,2 x LW do EPA mais AA, T4 – 0,3 x LW do EPA mais AA, e T5 - 0,4 x LW do EPA mais AA; FDA – Fibra Detergente Ácido; FDN – Fibra Detergente Neutro; PB – Proteína Bruta; N – Nitrogênio; P – Fósforo; Na – Sódio; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Fe – Ferro; Mn – Manganês; Zn – Zinco; Cu – Cobre.

C₁ = 12 m₁ + 12 m₂ + 8 m₃ + 10 m₄ - 42 m₅; C₂ = 30 m₁ + 30 m₂ + 20 m₃ - 80 m₄; C₃ = 6 m₁ + 6 m₂ - 12 m₃; C₄ = 6 m₁ - 6 m₂

¹ Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. ^{**} e ^{*} Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{NS} - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A proteína bruta (PB) foi significativa a 1% de probabilidade, tendo destaque para os tratamentos T4 e T5. Todavia, o T4 sobressaiu, compondo 17,6% de proteína bruta. O valor de PB foi superior ao obtido por Cavalcanti e Resende (2006b), que apresentaram em sua pesquisa o equivalente a 11,41% para o mandacaru sem espinho.

Germano et al. (1999) alcançaram 10,18% de PB para o mandacaru, quantidade suficiente para alimentar um bovino de 450 kg de peso vivo, configurando-se como um excelente recurso para alimentação animal na região semiárida.

Dados compilados pela EMPARN (2013) relatam valor inferior de PB (8,17%). Segundo o órgão, o valor obtido trata-se do suficiente para atender os requisitos mínimos de proteína bruta para nutrição animal. Ao analisar os contrastes ortogonais houve significância para C2 e C3 a 1% de probabilidade para ambos contrastes.

Valores copilados por Moraes et al. (2011) apresentam os diferentes percentuais das características bromatológicas do mandacaru tradicional e mandacaru sem espinho. As percentagens de MS, FNA e FDA foram superiores para o mandacaru sem espinho, com valores equivalentes a 14,43%, 56,62% e 29,90%, respectivamente. Em contrapartida com 8,56% de MS, 37,56% de FDN e 19,72% de FDA compuseram o mandacaru tradicional.

As concentrações de N apresentaram significância para o desenvolvimento da cactácea, sendo T4 o tratamento que mais incrementou o elemento a planta. Os contrastes C2 e C3 foram significativos a 1% de probabilidade.

De acordo com NSW (2010), é de extrema importância avaliar a quantidade de nitrogênio removido pela cultura, quando irrigadas com efluentes industriais. Porquanto, as elevadas concentrações podem favorecer a lixiviação do nitrogênio ao longo do perfil do solo, concentrando-se nas águas subterrâneas.

Houve significância para o P a 5% de probabilidade, com valor médio de 0,04 g.kg⁻¹, sendo os tratamentos T2 e T3 os mais significativos. EMBRAPA (2012) obteve um valor médio de 1,81 g.kg⁻¹ de fósforo em mandacaru com espinho. Dados da EMPARN (2013) expõe um teor de fósforo equivalente a 0,8 g.kg⁻¹. Os contrastes C1 e C4 foram significativos a 5% e a 1% para o fósforo, concomitantemente.

Germano et al. (1999) expõe que comumente as cactáceas apresentam baixos teores de fósforo, havendo deslocamento da parte aérea para as raízes, e em alguns caso para o solo durante o período de estiagem.

O Na apresentou variações ao longo dos tratamentos, com destaque para T1, T4 e T5. Todavia, houve uma maior predominância na aplicação do T5, equivalente a 311,55 mg.kg⁻¹. EMBRAPA (2012) obteve um valor mais elevado, 404,0 mg.kg⁻¹ de Na. Como pode-se observar na Tabela 11, somente os contrastes C1 e C4 foram significativos.

Moraes et al. (2011) relatam que as forrageiras, em geral, são ricas em potássio e ferro, com deficiência de sódio e quantidades variadas dos demais minerais.

Não houve significância estatística para o K, apresentando valor médio de 4,52 g.kg⁻¹. O coeficiente de variação para a referida característica foi de 80,51% e o erro padrão de 1,628. Do mesmo modo, não houve significância para os contraste ortogonais testados a 5% de probabilidade.

Ao avaliar diversas forrageiras, Germano et al. (1999) relatam que o mandacaru foi a cactácea que apresentou menor valor de K. Todavia, o valor obtido atendeu as exigências mínimas para alimentação animal. Os teores de K variam de acordo com a idade da planta e o período de coleta.

Os teores de Ca foram significativos a 1% de probabilidade. O T2, T3 e T5 foram os tratamentos de maior relevância para a cultura, incrementando 139,9 g.kg⁻¹, 123,6 g.kg⁻¹ e 121,0 g.kg⁻¹, respectivamente. Utilizando diversos teores de esterco, EMBRAPA (2012) obteve somente 28,72 g.kg⁻¹ de cálcio. Os contrastes ortogonais foram significativos em C2 e C4.

De acordo com Germano et al. (1999), o Ca apresenta baixa mobilidade no tecido vegetal das forrageiras, aumentando com a idade da planta e com o período seco.

Conforme Moraes et al. (2011), as exigências nutricionais dos animais em relação aos macrominerais, como o Ca e o P, dependem de diversos fatores, tais como o peso corporal, velocidade de crescimento, idade, nível de produção e gestação.

O elemento Mg não foi significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todavia, o contraste C2 apresentou significância a 1% de probabilidade, conforme exposto na Tabela 12.

Diferente do exposto, Germano et al. (1999) descreve que as forrageiras apresentam valores variados em relação ao teor de Mg, sendo o mandacaru a cactáceas que apresentou o menor teor do elemento.

5. CONCLUSÕES

Devido as elevadas concentrações de sais presentes no efluente de laticínios, a condutividade elétrica se manifesta como fator limitante ao uso no solo. Contudo, a produção do mandacaru sem espinho irrigado com proporções de efluente de laticínios e água de abastecimento público tornam-se uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável, incrementando nutrientes a planta, favorecendo aporte de nutrientes ao solo e reduzindo a quantidade de água potável para a irrigação.

Os tratamentos aplicados apresentaram efeitos significativos sob a produção do mandacaru sem espinho. Logo, o tratamento T4, composto por 30% da dose de efluente mais água de abastecimento público, predominou em relação aos demais, porquanto favoreceu o rendimento da cultura sem causar impactos significativos ao solo.

Do mesmo modo, com a aplicação do tratamento T4 pôde-se obter respostas mais significativas no teor de proteína bruta e nitrogênio. Assim, a composição nutricional do mandacaru sem espinho, irrigado com efluente de laticínios e água de abastecimento público, satisfaz as necessidades nutricionais dos animais, além de conter elevadas quantidades de água, caracterizando-se como estimado recurso forrageiro durante os períodos de estiagem prolongada.

REFERÊNCIAS

- ABIA – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. **Indústria da alimentação: principais indicadores econômicos**. <<http://www.abia.org.br/vst/faturamento.pdf>>. 30 Jul. 2015.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60 p.
- ABRAHÃO, S. S. **Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras**. 2006. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. DE M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, Jan. 2014. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Fatos e tendências: água**. Brasília: ANA, 2009. 36 p.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.152-169, Jun. 2008.
- BEVILAQUA, M. R. R.; SANTANA FILHO, A. P.; MANGOLIN, C. A.; OLIVEIRA, A. J. B.; MACHADO, M. F. Genetic and chemical diversity in seeds of cactus mandacaru (*Cereus* sp.) from two edaphoclimatic regions contrasting. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 87, n. 2, p.765-776, Jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/0001-3765201520140029.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI J. E. W. A. **Manual de tratamento de água residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.
- BRASIL. Constituição (1988). Emenda Constitucional de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, 5 Out. 1988. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. 10 Ago. 2015.

_____. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. 10 Ago. 2015.

_____. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de janeiro de 2005.** Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. 27 Jun. 2015.

_____. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 18 Mar. 2005. <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. 30 Set. 2015.

_____. **Resolução nº 430, de 16 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília, DF, 16 maio 2011. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. 30 Set. 2015.

_____. **Portaria Ministério da Saúde Nº 2914 DE 12/12/2011 (Federal).** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. 06 Dez. 2016.

_____. **Governo busca regulamentação de norma nacional para água de reúso.** <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/04/governo-busca-regulamentacao-de-norma-nacional-para-agua-de-reuso>>. 07 Nov. 2015.

BRUXEL, J.; JASPER, A. A família Cactaceae na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 71-79, 2005.

BUCKS, D. A.; Nakayama, F. S.; Gilbert, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

CARTA-ESCOBAR, F.; PEREDA-MARÍN, J.; ÁLVAREZ-MATEOS, P.; ROMERO-GUZMÁN, F.; DURÁN-BARRANTES M. M.; BARRIGA-MATEOS, F. Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime. **Biochemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.183-191, out. 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.bej.2004.06.007.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da caatinga**. Campina Grande: INSA, 2011. 116 p.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Editora JE Cavalcanti, 2009. 453 p.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento do mandacaru sem espinhos (*Cereus hildemannianus* K. Schum). **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 3, p.255-260, Jul./Set. 2006.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. **Mandacaru sem espinhos (Cereus hildemannianus K. Schum)**. Petrolina: Embrapa, 2006. 2 p.

CAVALCANTI, N. **Plantio de mandacaru para alimentação animal**. 2008. <<https://www.embrapa.br/web/portal/busca-de-noticias/-/noticia/2489392/prosa-rural---plantio-de-mandacaru-para-alimentacao-animal>>. 21 Jan. 2016

CEARÁ. **Portaria nº 154, de 22 de Julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Ceará, CE, 22 Jul. 2002. <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. 02 Out. 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São Paulo: CETESB, 2008. 95p.

CHAIUDHARI, D. H.; DHOBLE, R. M. Performance evaluation of effluent treatment plant of dairy industry. **Current World Environment**, Nagpur, v. 5, n. 2, p.373-378, Out. 2010.

DAIRYCATCH. **Environmental best practice guidelines: effluent management**. Australia: DAFWA, 2006. 89 p.

DANALEWICH, J. R.; PAPAGIANNIS, T. G.; BELYEA, R. L.; TUMBLESÓN, M. E.; RASKIN, L. Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal. **Water Research**, [s.l.], v. 32, n. 12, p.3555-3568, dez. 1998. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0043-1354(98)00160-2.

DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, [s.l.], v. 40, n. 8, p.2583-2595, Jul. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.procbio.2004.12.015.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal: Viçosa, 2012. 214p.

DOORENBOS J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO-ONU, 1977. 144 p (Irrigation and Drainage Paper n^o. 24 rev.).

EHS – Environment Health and Safety. **Pollution prevention and abatement handbook, 1998: toward cleaner production**. Washington: World Bank Group, 1999. 472 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mercado de Leite e derivados**. 2002. Elaborada por Carvalho et al.
<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/mercados.html>. 05 Jun. 2015.

_____. **O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial**. Juiz de Fora: EMBRAPA, 2010.

_____. **Produção de Mudanças de Mandacaru**. Fortaleza: Embrapa, 2012. 6 p. Elaborada por Correia et al.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

_____. **Desafios para a produção de leite no Nordeste**. Brasília: EMBRAPA, 2015.
<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2697798/artigo-desafios-para-a-producao-de-leite-no-nordeste>>. 12 Ago. 2015.

EPA – Environmental Protection Agency. **Process design manual: land treatment of municipal wastewater**. Washington, D.C.: Department of the interior, 1981. 625p.

_____. **Environmental guidelines for the dairy processing industry**. Victoria: EPA, 1997. 33 p.

_____. **Industrial waste resource guidelines: industrial water reuse**. Victoria: EPA, 2009. 13 p.

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Xiquexique e mandacaru na alimentação animal**. Natal: EMPARN, 2013. 32p. (Série Documentos; 44).

FAO – Food and Agriculture Organization. **Dairy production and products: milk production**. <<http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/>>. 07 Jun. 2015.

FARIZOGLU, B.; UZUNER, S. The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system. **Biochemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 57, p.46-54, nov. 2011. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.bej.2011.08.007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p.1039-1042, 2011.

FERNANDES, V. N. A.; NEVES, A. F.; MARTIN, P. G.; MANGOLIN, C. A.; MACHADO, M. F. P. S. Genetic structure and molecular divergence among samples of mandacaru (*Cereus* spp.; Cactaceae) as revealed by microsatellite markers. **Biochemical Systematics And Ecology**, [s.l.], v. 64, p.38-45, Fev. 2016. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.bse.2015.11.003.

FIA, R.; MATOS, A. T.; FIA, F. R. L.; MATOS, M. P.; LAMBERT, T. F.; NASCIMENTO, F. S. Desempenho de forrageiras em sistemas alagados de tratamento de águas residuárias do processamento do café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, p.842-847, 2010.

FIASCONARO, M. L.; ANTOLÍN, M. C.; LOVATO, M. E.; MARTIN, C. A. Study of fat compost from dairy industry wastewater as a new substrate for pepper (*Capsicum annuum* L.) crop. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 193, p.359-366, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.038>.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial**. São Paulo: FIESP, 2004. 90 p.

FIGUEIREDO, T. C. F.; DI SOUZA, L.; BATISTA, R. O.; ALVES, S. M. C.; SANTOS, A. P. B. Caracterização físico-química dos efluentes de uma indústria de laticínios. **Blucher Chemistry Proceedings**, [s.l.] v. 3, n. 1, p. 1-10, 2015.

GERMANO, R. H.; BARBOSA, H. P.; COSTA, R. G.; MEDEIROS, A. N.; CARVALHO, F. F. R. Avaliação da composição química e mineral de cactáceas no semi-árido paraibano. **Agropecuária técnica**, Areia, v. 20, n. 1, p. 51-57, 1999.

GILIOLI, A.; CAVEJON, M.; QUADRI, M. G. N. *C. hildmannianus* peel for protein adsorption. **Chemical Engineering Transactions**, [s.l.], v. 32, p.1099-1104, Maio 2013. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. DOI: 10.3303/CET1332184.

GOOGLE. **Google Earth**. Version 7.1.7.2606. 2016. Nota: Localização da Unidade Experimental de Reúso de Água e do Empreendimento Leite do Sertão. <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 25 Out. 2016.

HAWKE, R. M.; SUMMERS, S. A. Effects of land application of farm dairy effluent on soil properties: A literature review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 49, n. 3, p.307-320, set. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.2006.9513721>.

HENA, S.; FATIMAH, S.; TABASSUM, S. Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. **Water Resources And Industry**, [s.l.], v. 10, p.1-14, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2015.02.002>.

HOCHSTRAT, R.; WINTGENS, T.; MELIN, T. Development of integrated water reuse strategies. **Desalination**, [s.l.], v. 218, n. 1-3, p.208-217, Jan. 2008. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.desal.2006.08.029.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 50 p.

IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control. **Reference document on best available techniques in the food, drink and milk industries.** Seville: IPPC, 2006. 682 p.

KAMAKSHI, K. T.; RAVEEN, R.; TENNYSON, S.; ARIVOLI, S.; REEGAN, A. D. Ovicidal and repellent activities of *Cereus hildmannianus* (K. Schum.) (Cactaceae) extracts against the dengue vector *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). **International Journal of Mosquito Research**, Tamil Nadu, v. 2, n. 1, p. 13-17, 2015.

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHIA, T. D.; TAKETANIA, R. G.; ANDREOTEB, F. D.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, [s.l.], v. 168, n. 4, p.183-191, maio 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.micres.2012.12.002.

LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados.** Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472 p.

LEME, E. J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias.** São Carlos: Edufscar, 2010. 595 p.

LIMA FILHO, R. R.; AGUIAR, G. A. M.; TORRES, A. Setor leiteiro: 2013 será um ano de recuperação. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 36, n. 1, p.15-16, Jun. 2013.

LIMA, V. I. A.; ALVEZ, S. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; BATISTA, R. O.; PINHEIRO, J. G.; DI SOUZA, L. Desempenho do sistema de tratamento de água residuária de laticínios e os efeitos de sua disposição em Argissolo. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 2, n. 2, p. 93-101, Mai-Ago. 2013.

LU, Q.; ZHOU, W.; MIN, M.; MA, X.; MA, Y.; CHEN, P.; ZHENG, H.; DOAN, Y. T. T.; LIU, H.; CHEN, C.; URRIOLOA, P. E.; SHURSON, G. C.; RUAN, R. Mitigating ammonia nitrogen deficiency in dairy wastewaters for algae cultivation. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 201, p.33-40, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.029>.

MANTOVANI, E. C.; COSTA, L.C. **Manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos.** Brasília: SRH/MMA-DEA-UFV, 154 p. 1998.

MARMIROLI, M.; ROBINSON, B. H.; CLOTHIER, B. E.; BOLAN, N. S.; MARMIROLI, N.; SCHULIN, R. Effect of dairy effluent on the biomass, transpiration, and elemental composition of *Salix kinuyanagi* Kimura. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 37, p.282-288, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.001>.

MARQUES, B. C. D. **Desempenho de unidades gotejadoras operando com diluições de efluentes de laticínios e de água de abastecimento público em escala laboratorial.** 2016. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

MARQUES, B. C. D.; CUNHA, V. T.; CUNHA, V. T.; SILVA, K. B.; BATISTA, R. O. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 140-155, Jan./Mar., 2016.

MATOS, A. T. **Manejo e tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: UFV, 2007. 123 p.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A. V.; SARMENTO, A. P.; MATOS, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p.1311-1317, Set. 2010.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1144-1155, Nov./Dez. 2012

MENDONÇA, H. V.; RIBEIRO, C. B. M.; BORGES, A. C.; BASTOS, R. R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Ami-agua**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.75-87, 31 Ago. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). DOI: 10.4136/ami-agua.805.

MESQUITA, F. O. **Desempenho de gotejadores e produção de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com percolado de aterro sanitário no semiárido**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

MORAIS, S. A.; COSTA, S. A. P.; ARAÚJO, G. G. L. Nutrição e exigências nutricionais. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Cap. 7, p. 165-200.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 5º Ed. Rio de Janeiro: Abes, 2012. 524 p.

NSW – New South Wales Government. **Use of effluent by irrigation**. Austrália: Department of Environment and Climate Change and Water NSW, 2004. 135 p.

_____. **Effluent reuse management**. Austrália: Department of Environment and Climate Change and Water NSW, 2010. 65 p.

OLIVEIRA, E. M. **Reúso da água como recurso hídrico: oportunidades e necessidade de regulamentação**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. 8 p.

OLIVEIRA, M. C. **Efeito da aplicação de água residuária de graxaria em elementos químicos do solo e na produção e composição mineral de duas espécies forrageiras**. 2014. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

OLIVEIRA, J. F.; ALVES, S. M. C.; BATISTA, R. O.; LIMA, V. I.; DI SOUZA, L. Avaliação de sistema de tratamento de laticínio e o efeito do efluente gerado nos atributos físico-químico de um argissolo vermelho. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.22, n.1, p. 58-66, 2014.

ONU – Organização das Nações Unidas. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. In: ONU. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: ONU, 1992. 34 p.

PEREIRA, M. C.; STEFFENS, R. S.; JABLONSKI, A. HERTZ, P. F.; RIOS, A. O.; VIZZOTTO, M.; FLÔRES, S. H. Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of three Brazilian fruits. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.19-24, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.013>.

PHILIPPI JR., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005. 842 p.

POKRYWIECKI, T. S.; GUMY, M. P.; TONIAL, I. B.; POKRYWIECKI, J. C. Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticínios. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, [s.l.], v. 11, n. 566, p.155-161, 2013. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR. <http://dx.doi.org/10.7213/academica.10.s01.a018>

QASIM, W.; MANE, A. V. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. **Water Resources And Industry**, [s.l.], v. 4, p.1-12, dez. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.wri.2013.09.005.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 322 p.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington, US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

RUSAN, M. J. M.; HINNAWI, S.; ROUSAN, L. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. **Desalination**, [s.l.], v. 215, n. 1-3, p.143-152, set. 2007. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.desal.2006.10.032.

SANTOS, P. M.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. E. C. Resíduo de laticínio em pastagem de capim Mombaça: atributos químicos da forragem e do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.377-390, 11 mar. 2013. Universidade Estadual de Londrina. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n1p377.

SARAIVA, D. D.; SOUSA, K. S.; OVERBECK, G. E. Multiscale partitioning of cactus species diversity in the South Brazilian grasslands: Implications for conservation. **Journal For Nature Conservation**, [s.l.], v. 24, p.117-122, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2014.07.005>.

SARKAR, B.; CHAKRABARTI, P. P.; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. Wastewater treatment in dairy industries — possibility of reuse. **Desalination**, [s.l.], v. 195, n. 1-3, p.141-152, Ago. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.desal.2005.11.015.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cenários para o leite e derivados na Região Nordeste em 2020**. Recife: SEBRAE, 2013. 154 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, D. M.; CARVALHO, F. R. S.; MOURA, A. G.; MARTINS, L.; FERREIRA, P. M. T.; PERON, A. P. Cytotoxic action of the stem aqueous extract of the stem of *Cereus jamacaru* DC. (Mandacaru). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.226-234, Mar. 2015.

SOLLER, A. **A família Cactaceae juss. no estado do Paraná, Brasil**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Botânica, Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SOLLER, A.; SOFFIATTI, P.; CALVENTE, A.; GOLDENBERG, R. Cactaceae no estado do Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, [s.l.], v. 65, n. 1, p.201-219, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s2175-78602014000100014.

TAVARES, J. S. F.; MARTIN, P. G.; MANGOLIN, C. A.; COLLET, S. A. O.; MACHADO, M. F. P. S. Genetic relationships among accessions of mandacaru (*Cereus* spp.: Cactaceae) using amplified fragment length polymorphisms (AFLP). **Biochemical Systematics And Ecology**, [s.l.], v. 48, p.12-19, Jun. 2013.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2º Ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

TOZE, S. Reuse of effluent water — benefits and risks. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 80, n. 1-3, p.147-159, Fev. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.07.010.

USDA – United States Department of Agriculture. **Classification for Kingdom Plantae Down to Species *Cereus hildmannianus* K. Schum.** <<http://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=CEHI3>>. 20 Jan. 2016.

VOLTOLINI, T. V.; CAVALCANTI, A. C. R.; MISTURA, C.; CÂNDIDO, M. J. D.; SANTOS, B. R. C. Pastos e manejo do pastejo em áreas irrigadas. In: VOLTOLINI, Tadeu Vinhas. **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa, 2011.

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. A.; ANDRADE, D. K. B. VÉRAS, A. S. C.; FARIAS, I.; DIAS, L. E.; DIAS, A. M. A. Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em Substituição à Silagem de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na Alimentação de Vacas Leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.273-281, fev. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982002000100030>.