



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

RANIERE BARBOSA DE LIRA

**CULTIVO DO SORGO USANDO ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO COMO FONTE HÍDRICA**

MOSSORÓ - RN

2016

RANIERE BARBOSA DE LIRA

**CULTIVO DO SORGO USANDO ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO COMO FONTE HÍDRICA**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semiárido como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água em 2016.

Linha de pesquisa: Manejo de Solo e Água

Orientador: Miguel Ferreira Neto, Prof. Dr.

Co-orientador: José Francismar de Medeiros
Prof. Dr.

MOSSORÓ-RN

2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semiárido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

L768c LIRA, RANIERE BARBOSA DE LIRA.

CULTIVO DO SORGO USANDO ÁGUA DE ESGOTO
DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE HÍDRICA / RANIERE
BARBOSA DE LIRA. - 2016.

107 f. : il.

Orientador: MIGUEL FERREIRA NETO .
Coorientador: JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2016.

1. Reuso de água. 2. Recursos hídricos. 3.
Fonte de nutrientes. 4. Agricultura. 5. Biomassa.

I. , MIGUEL FERREIRA NETO, orient. II. MEDEIROS,
JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS, co-orient. III.

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.

RANIERE BARBOSA DE LIRA

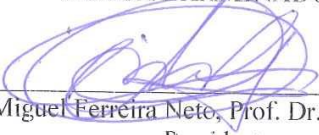
**CULTIVO DO SORGO USANDO ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO COMO FONTE HÍDRICA.**

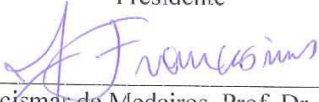
Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semiárido como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água em 2016.

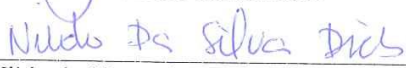
Linha de pesquisa: Manejo de Solo e Água

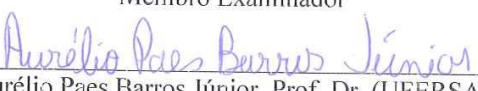
Defendida em: 31/08/2016

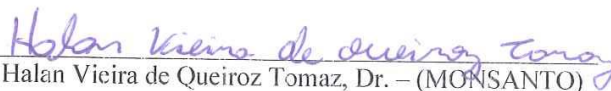
BANCA EXAMINADORA:


Miguel Ferreira Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente


José Francismar de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Aurélio Paes Barros Júnior, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Halan Vieira de Queiroz Tomaz, Dr. – (MONSANTO)
Membro Examinador Externo

A minha esposa Janalúcia e a minha filha Maria Das Graças, que com muito amor e companheirismo contribuiu com o incentivo nos vários momentos mais difíceis, para a conclusão desse trabalho.

Dedico

Aos agricultores familiares do assentamento Milagres em Apodi, que com muita luta vem contribuindo com as pesquisas desenvolvidas com o reuso de água.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma vitória e forças recebidas que são capazes de mudar o nosso destino.

Ao Prof. Dr. José Francismar de Medeiros, pelas valiosas contribuições na condução do experimento e orientações que nortearam a minha caminhada na Pós-graduação.

Aos amigos Professores Dr. Nildo da Silva Dias e Dr. Miguel Ferreira Neto que sempre deu oportunidade aos seus alunos de sonharem e transformar sonhos em realidade, além da compreensão e orientações para a realização deste trabalho.

A Professora Dr^a. Jeane Cruz Portela que através de suas intervenções valorosas contribuiu bastante para conclusão desta tese.

Ao eterno Prof. Ernesto Sobrinho, por tão profundos conhecimentos que mim nortearam na área de solo.

Aos Professores Marcelo Gurgel e Rafael pelas as conversas incentivadoras e ajudas que mim nortearam.

A COOPERVIDA, em especial ao quadro de sócios/as pelas amizades e torcidas na realização desse sonho.

A Universidade Federal Rural do Semiárido por servir de templo para a construção deste trabalho.

Aos amigos Raimundo Fernandes de Brito, Vianney, Osvaldo, Flaviano, João Paulo, Iury, Marcírio, Wilson, Valter, Flávio Alan e tantos outros, que direto e indiretamente contribuíram na construção desse trabalho.

A todos MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

LIRA, Raniere Barbosa de. **Cultivo do sorgo usando água de esgoto doméstico tratado como fonte hídrica**. 2015. 107 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN. Orientador: Miguel Ferreira Neto.

O uso de esgoto doméstico tratado é uma forma efetiva de controle da poluição ambiental e uma opção viável para aumentar a disponibilidade hídrica nas regiões áridas e semiáridas. No entanto, é necessário compreender as características do produto final para evitar efeitos indesejáveis e permitir seu uso como material para a fertilização e irrigação das plantas, entre outros. Como opção de produção agrícola, plantas de sorgo forrageiro foram cultivadas em campo aberto e irrigadas com esgoto doméstico tratado da estação de tratamento de águas residuais, localizado no projeto de Assentamento de Milagres, Apodi, RN. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, com modelo em parcelas subdivididas, sendo três fontes hídricas referente às parcelas (Água de poço - controle, água de esgoto doméstico tratado e a mistura de 50% água de poço + 50% esgoto doméstico tratado) e três cultivares de sorgo (IPA 2502, BRS 506 e BRS Ponta Negra). Os resultados mostram que a cultivar BRS Ponta Negra respondeu positivamente ao incremento de águas residuárias nas variáveis áreas foliar, número de folhas, massa de matéria seca e produção de massa verde quando comparadas com as demais. O uso agrícola do esgoto doméstico tratado e a misturas de 50% água de poço + 50% esgoto doméstico tratado foi a fonte hídrica que resultara na maior produção de sorgo. O aumento vegetativo e produtivo das plantas de sorgos BRS 506, IPA 2502 e Ponta Negra foi influenciado positivamente pelas águas: esgoto, mistura e abastecimento sucessivamente usado na fertirrigação e As águas esgoto e mistura, resultou em maior produção de biomassa: produção de briquetes, produção de etanol e poder calorífico.

Palavras-chaves: Reuso de água. Recursos hídricos. Fonte de nutrientes. Agricultura.

ABSTRACT

LIRA, Raniere Barbosa de. **Cultivation of sorghum using domestic sewage treated as a water source.** 2015. 107 f. Thesis (Doctorate in Soil and Water Management) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN. Advisor: Jeane Cruz Portela.

The use of treated sewage effluents is a way of avoids environmental pollution and also a viable choice to increase water availability in arid and semiarid regions. However, it is necessary to understand characteristics of the end product to avoid undesirable effects and, to allow its use as material for irrigation and plant fertilization, among others. As option to agricultural produce, sorghum plants were growth in open-field under irrigation with treated domestic wastewater from wastewater treatment plant located in Milagres Settlement Project, Apodi state, Brazil. The experiment was carried out using the experimental design in completely randomized blocks, with three replications. Treatments followed a factorial scheme 3 x 3, with three water source (well water - control, treated sewage effluent and, mixture of 50% water well + 50% treated sewage effluent) and, three sorghum cultivars (IPA 2502, BRS 506 and BRS Ponta Negra). Result showed that BRS Ponta Negra cultivar responded positively to the increase of wastewater in relationship the variables leaf area, leaf number, dry matter and green mass weight, than the other treatments. Agricultural use of treated domestic wastewater and mixtures of 50% well water + 50% treated domestic wastewater were water sources that resulted in higher sorghum yields. The vegetative and productive increase of sorghum plants BRS 506, IPA 2502 and Ponta Negra was positively influenced by the waters: sewage, mixture and supply successively used in the fertirrigation and the waters sewage and mixture, resulted in greater production of biomass: briquettes production, Production of ethanol and calorific value.

Keywords: Water reuse. Water resources. Nutrient source. Agriculture.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Percentual do território das unidades da Federação e das grandes regiões cujos espaços geográficos estão dentro e fora da porção semiárida Fonte: INSA (2012)..... 15
- Figura 2 – Detalhe de uma parcela experimental com vista do detalhe da irrigação nos sulcos de plantio (A) e do cultivo do sorgo em espaçamento duplo (B). Fonte: Dados de acervo de pesquisa..... 43
- Figura 3 – Vista do detalhe do espaçamento do sorgo e sulcos. Fonte: Dados de acervo de pesquisa..... 48
- Figura 4 – Vista frontal do decanto-digestor destacando internamente (A) e, externamente (B) o tanque séptico e os dois filtros biológicos. Fonte: Lemos (2011)..... 50
- Figura 5 – Detalhe das atividades de campo: colheita, desfolhas, cortes dos cachos e pesagens. Fonte: Dados de acervo de pesquisa..... 52
- Figura 6 – Detalhe das atividades de extração do caldo, pesagem e grau brix. Fonte: Dados de acervo de pesquisa..... 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de municípios segundo as unidades da federação e grandes regiões – 2010. Fonte: INSA(2012).....	16
Tabela 2 – População total residente segundo as unidades da Federação e grandes regiões 2010. Fonte: IBGE (2010).....	18
Tabela 3 – Características químicas, na profundidade de 0 a 20 cm utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária de origem doméstica, Chapada do Apodi, RN, 2014.....	44
Tabela 4 – Informações técnicas das cultivares de sorgo utilizado na pesquisa implantadas no Assentamento Milagres – Apodi RN. Fonte (EMBRAPA e IPA, 2014).....	48
Tabela 5 – Características físico-químicas e biológicas das águas utilizadas, água residuária (AR) e água de abastecimento potável (AA). Chapada do Apodi, RN, 2012.....	51
Tabela 6 – Levantamentos da precipitação pluvial durante o período de condução do experimento. Fonte (Lira, 2015).....	52
Tabela 7 – Média das variáveis de crescimento altura de plantas até o cacho, altura de plantas até a 3ª folha, diâmetro da base e diâmetro meio do colo, para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.....	59
Tabela 8 – Média das variáveis de crescimento: área foliar, número de folhas por plantas, percentual de matéria seca de colmos e percentual de matéria seca de folhas, para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.....	61
Tabela 9 – Médias dos teores de nitrogênio, fósforo e manganês presentes nas folhas de cultivares de sorgo em função de três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	62
Tabela 10 – Médias dos teores de nitrogênio, ferro e cobre presentes nas folhas de três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.....	62
Tabela 11 – Médias dos teores de cálcio e magnésio presentes em folhas de três cultivares de sorgo submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	63
Tabela 12 – Médias dos teores de nitrogênio, manganês e zinco presentes nos caules de cultivares de sorgo em função de três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	64

Tabela 13 – Médias dos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e zinco presentes nos caules de três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.....	64
Tabela 14 – Médias dos teores de (ferro mg.kg ⁻¹) presentes em caules de três cultivares de sorgo submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	65
Tabela 15 – Valores médios de produtividade das folhas secas, produtividade de colmos secos e produtividade de matéria seca vegetal (colmos e folhas) para três variedades de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.....	66
Tabela 16 – Médias de matéria fresca de folhas, matéria fresca de colmo e matéria fresca vegetal total para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.....	67
Tabela 17 – Médias de massa de panícula para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.....	68
Tabela 18 – Média das variáveis de rendimento e qualidade do caldo teor de graus (°BRIX) e produtividade de volume de caldo para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.....	70
Tabela 19 – Médias dos teores de condutividade elétrica, soma de bases e capacidade de troca de cátions à pH 7,0 de solo cultivado com três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.....	72
Tabela 20 – Médias dos teores de fósforo, sódio e magnésio no solo cultivado com três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	74
Tabela 21 – Produção de briquetes e poder calorífico a partir do bagaço (puro ou em mistura com cinza e serragem) de duas variedades de sorgo, submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN.2016.....	79
Tabela 22 – Produção de etanol e envolvimento energético de duas variedades de sorgo, submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.....	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SEMIÁRIDO	15
2.1.1 Extensão territorial	15
2.1.2 Ocupação dos espaços geográficos	16
2.1.3 Recursos hídricos	20
2.2 A IMPORTÂNCIA DO REUSO COMO ESTRATÉGIA DE CONVIVÊNCIA PARA O SEMIÁRIDO	24
2.3 A CULTURA DO SORGO E SUA IMPORTÂNCIA	30
2.4 SORGO GRANÍFERO	32
2.5 CULTIVARES DE SORGO PARA À PRODUÇÃO DE SILAGEM	34
2.6 CULTIVARES DE SORGO PARA A PRODUÇÃO DE GRÃOS	36
2.7 PODER CALORÍFICO E BRIQUETAGEM	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 LOCAL DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	43
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	43
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	44
3.3.1 Preparo do solo	44
3.3.2 Sistema de Irrigação de baixa pressão	44
3.3.3 Semeadura do sorgo e seus tratamentos culturais	47
3.3.4 Caracterização da estação de tratamento ET	49
3.3.5 Colheitas e características avaliadas	51
3.3.6 Análise e interpretação dos resultados obtidos	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 CRESCIMENTO DO SORGO	58
4.2 COMPOSIÇÃO MINERAL DAS FOLHAS	62
4.3 COMPOSIÇÃO MINERAL DO CAULE DE SORGO	63
4.4 PRODUÇÃO E QUALIDADE DO SORGO	65

4.4.1 Rendimentos de colmos e folhas	65
4.4.2 Rendimentos de panícula	68
4.4.3 Rendimentos e qualidade do caldo	69
4.5 CARACTERÍSTICAS DO SOLO	750
4.6 CULTIVARES DE SORGO (BRS 506 E PONTA NEGRA) COMO FONTE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA (Biomasa)	705
5 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE	99

1 INTRODUÇÃO

Diante dos problemas sociais e a diversidade climática, o semiárido brasileiro necessita de uma cultura de convivência que considere o fenômeno da seca, os recursos naturais disponíveis e os povos que habitam nesse espaço geopolítico plural e diverso. Deste modo, torna-se essencial o desenvolvimento e a aplicações de tecnologias que permitam o uso eficiente e a potencialização dos recursos hídricos no semiárido, especialmente nas áreas de produção familiar, como garantia de alimentos no meio rural com maior segurança ambiental.

A população rural quase não tem acesso aos recursos hídricos, uma realidade específica dos povos do campo de baixa renda que não dispõe de fonte de água potável para abastecimento e nem rede de saneamento. Evidenciando a necessidade de identificar formas adequadas de manejo do solo, descarte de resíduos e reuso da água no meio rural (HELLER et al., 2008).

Uma experiência exitosa de captação e tratamento de esgoto doméstico no meio rural foi comprovada no Projeto de Assentamentos Milagres, município de Apodi, RN. O sistema de tratamento de esgoto utilizado é de baixo custo, simples operação, eficiente e compatível com a realidade local. O saneamento dessa área suscitou o debate acerca de tecnologias adaptadas ao semiárido, valorizando a organização social do assentamento, os quais planejam usar essas águas para a produção de alimentos e forragem para os animais.

Apesar dos benefícios do saneamento rural para os povos do campo, o tratamento do esgoto doméstico gera um efluente com altos teores de matéria orgânica e nutrientes. Estudos indicam a eficiência do efluente como fonte de água e nutrientes no cultivo de bananeiras, correspondendo com a adição de 600 mm de efluente tratado pode fornecer 21% de N, 100% de P, 21% de K, 20% de Ca e 50% de Mg do total de nutrientes necessários anualmente para a produção de bananeiras (JOHNS; MCCONCHIE, 1994). No entanto, é necessário estudar as características deste resíduo para evitar efeitos indesejáveis e permitir a sua utilização como fonte hídrica e nutricional das plantas.

Assim, a contribuição da pesquisa reforça o propósito da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a política Nacional do Meio Ambiente, onde estabelece como princípios norteadores das ações governamentais para o meio ambiente, “incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e proteção dos recursos ambientais”, bem como a “racionalização do uso da água”.

Face ao exposto, é de fundamental importância desenvolver estudos conduzidos de forma sistemática e em base científica para utilizar o efluente do esgoto doméstico tratado para a irrigação dos cultivos agrícolas. Mas, para que haja uma adesão por partes dos agricultores

sobre reuso de água na agricultura devem-se escolher culturas estratégicas como importância de desenvolvimento local como, por exemplo, a cultura do sorgo devido a sua adaptabilidade às condições climáticas do semiárido, importância na alimentação animal em períodos de estiagens prolongadas e fonte geradora de energia.

O reuso das águas residuais, tem despontado como uma alternativa para a minimização das crises hídricas atuais e/ou futura, na geração de alimentos. Com o reuso pode-se aumentar a disponibilidade de recursos para agricultura, ao mesmo tempo em que se disponibilizada água de melhor qualidade para os usos mais nobres (BREGA FILHO et al.; 2002).

O reuso tem se mostrado viável economicamente, pois visam uma maior sustentabilidade e o emprego de práticas ambientalmente corretas, uma vez que com o reuso pode-se, por exemplo, aumentar a disponibilidade de recursos para agricultura, ao mesmo tempo em que se liberam as águas de melhor qualidade para os usos mais nobres (NOGUEIRA, 2010). A Agricultura familiar tem que reduzir custos com o aumento de produtividade e eficiência, assim, o reuso de águas oportuniza economizar e garantir alimento ambientalmente sustentável.

É considerando a sustentabilidade que se devem buscar alternativas em novas tecnologias para que a produção continue e mantendo o desenvolvimento, na utilização de energias limpas sem degradar mais o tão sofrido semiárido potiguar. A agricultura é dependente totalmente do uso de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção agrícola não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e, implantados em curto prazo. A região semiárida do nordeste brasileiro, onde a escassez de água faz com que sejam, efetivamente, criadas alternativas que aproveitem a água disponível, dentre elas, a água residuária tratada (SARAIVA et al.; 2013).

O grande desafio deste estudo foi desenvolver conhecimentos para minimizar a escassez de água, potencializando o uso de águas de qualidade superior para o consumo humano e a utilização dos esgotos tratados na produção de culturas agrícolas. A possibilidade de reuso de água libera água doce para o consumo humano, além de possibilitar a solução de culturas agrícolas apropriadas para produção de alimentos vegetais, necessários à população e alimentação animal, gerando proteínas destinadas ao consumo humano.

Assim, o reuso de água é uma opção inteligente e necessária para produção agrícola e produção de biomassa na geração de energia, importante para a sustentabilidade dos recursos ambientais no semiárido.

Partindo desse pressuposto, a pesquisa objetivou avaliar o reuso de água de esgoto doméstico tratado e de poço e suas misturas em partes iguais, como fonte hídrica no crescimento e produção de cultivares de sorgo de diferentes aptidões.

2 REVISÃO DE LITERATURA

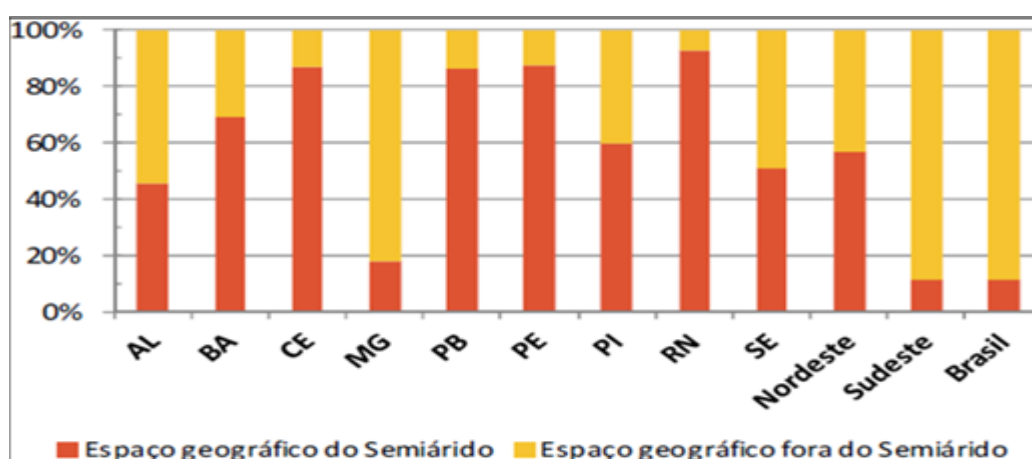
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SEMIÁRIDO

2.1.1 Extensão territorial

O semiárido tem clima predominantemente quente e seco, geralmente apresenta como característica marcante apenas duas estações: a chuvosa que dura entre três a cinco meses e a seca que dura de sete a nove meses (MENDES, 2010). Está submetida a parâmetros meteorológicos críticos como as mais altas taxas de radiação solar e temperatura média anual (em torno de 28 °C), baixa nebulosidade e precipitação pluvial (260-800 mm), com variabilidade interanual, longos períodos de seca e intermitência de seus rios, com predominância de solos rasos e ecossistemas xerófilos (QUEIROZ et al., 2006; ARAÚJO, 2007).

Geograficamente o semiárido brasileiro estende-se por oito Estados da região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) mais o Norte de Minas Gerais, totalizando uma extensão territorial de 980.133,079 km. Segundo Instituto do Semiárido – INSA (2012), essa extensão territorial revela números representativos dos estados dentro do semiárido, sendo 92,97% dos territórios do Rio Grande do Norte, Pernambuco 87,60%, Ceará 86,74%, Paraíba 86,20%, Bahia 69,31%, Piauí 59,41%, Sergipe 50,67%, Alagoas 45,28% e Minas Gerais 17,49%. Porém, considerando a dimensão territorial das grandes regiões, o Nordeste apresenta 56,46% de seu território na porção Semiárida e o Sudeste com 11,09% e o País alcança os 11,53% (Figura 1).

Figura 1 – Percentual do território das unidades da Federação e das grandes regiões cujos espaços geográficos estão dentro e fora da porção semiárida Fonte: INSA (2012).



2.1.2 Ocupação dos espaços geográficos

Atualmente, a região Semiárida do Brasil contabiliza 1.135 municípios distribuídos assimetricamente, no espaço geográfico de nove unidades da Federação: Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Minas Gerais (Tabela 1).

Considerando o número total de municípios, o Estado do Rio Grande do Norte se destaca por apresentar 88,02% de seus municípios inseridos na porção semiárida, seguido do Ceará, com 81,52%, Paraíba 76,23%, Pernambuco 65,95%, Bahia 63,79%, Piauí 57,14%, Sergipe 38,67%, Alagoas 37,25% e Minas Gerais com 9,96%. Por sua vez, dos 5.565 municípios que atualmente o País possui 20,40% encontram-se na região semiárida. Considerando-se, no entanto, o número de municípios das regiões Nordeste (1.794) e Sudeste (1.668) os percentuais alcançam 58,53% e 5,10%, respectivamente.

O Censo 2010 compreendeu um levantamento minucioso de todos os domicílios do País. Nos meses de coleta de dados e supervisão, 191 mil recenseadores visitaram 67,6 milhões de domicílios nos 5.565 municípios brasileiros, obtendo informações sobre quem somos, quantos somos, onde estamos e como vivemos (INSA, 2012).

Tabela 1 – Número de municípios segundo as unidades da federação e grandes regiões – 2010. Fonte: INSA(2012).

Unidades da federação e grandes regiões	Número de municípios		
	Espaço geográfico do semiárido	Espaço geográfico fora do semiárido	Espaço geográfico total
Alagoas	38	64	102
Bahia	266	151	417
Ceará	150	34	184
Minas Gerais	85	768	853
Paraíba	170	53	223
Pernambuco	122	63	185
Piauí	128	96	224
Rio Grande do Norte	147	20	167
Sergipe	29	46	75
Semiárido	1.135	-	1.135
Nordeste	1.050	744	1.794
Sudeste	85	1.583	1.668
Centro-Oeste	-	466	466
Norte	-	449	449
Sul	-	1.188	1.188
Brasil	1.135	4.430	5.565

Os resultados do Censo Demográfico realizado pelo IBGE revelaram que a população residente no Semiárido brasileiro alcançou a marca de 22.598.318 habitantes em 2010, representando 11,85% da população brasileira, sendo 42,57% do nordeste e 28,12% do Sudeste. Equiparando as populações das regiões Norte e Centro-Oeste com a da região semiárida, observa-se que esta última supera facilmente as dessas regiões e apenas 17,48% menor do que a população residente na região Sul (Tabela 2).

Portanto, percebe-se numericamente que a população residente no Semiárido brasileiro, dentre as regiões semiáridas do mundo, o sertão nordestino apresenta uma das maiores densidades populacionais, com uma alta pressão antrópica sobre os recursos naturais, adoção de um sistema agrícola extrativista, aliado às condições edafoclimáticas desfavoráveis, torna o semiárido brasileiro vulnerável às formas de desenvolvimento convencional. Na pecuária o superpastoreio deve ser evitado para não compactar o solo, já a agricultura é desenvolvida com a prática de desmatamento com posterior destoca e queimada, associado a isso, o manejo para a utilização da área antecede a épocas impróprias de pousio (MAIA et al., 2006).

O desmatamento seguido de queimadas tem sido utilizado desde a época da colonização e se constitui no que conhecemos como agricultura itinerante ou migratória, que se segue de alguns anos de repouso, muitas vezes insuficiente para a recuperação do solo e, conseqüentemente, da sua capacidade produtiva. A quebra dos ciclos biogeoquímicos com a queima da caatinga e da serrapilheira provoca a liberação de nutrientes imobilizados na biomassa e emissão de partículas e gases para a atmosfera, isso representa uma perturbação drástica no clima regional, ecologia e ciclo das águas (BONILLA, 2005).

Com a demanda atual para o consumo industrial e comercial, o tempo de repouso das áreas encurtou drasticamente, tornando-o, desta forma, insuficiente para que os processos de sucessão possam recompor a vegetação e a fertilidade do solo. A exploração agrícola atual afeta a vida das pessoas de forma negativa, pois, uma vez que novas alternativas de uso dos recursos não são desenvolvidas por muitos agricultores, estes são obrigados a usar a terra além de sua capacidade reposição (PEREZ, 2004).

A utilização inadequada do solo tem causado a degradação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas como, por exemplo, a desestruturação e compactação, perdas de solo e nutrientes por erosão e lixiviação, redução da fertilidade, oxidação acelerada da matéria orgânica, perdas de C, N, P e dos reservatórios de nutrientes associados à matéria orgânica e a diminuição da quantidade e diversidade de organismos do solo (LEITE et al., 2010).

Tabela 2 – População total residente segundo as unidades da Federação e grandes regiões 2010.
Fonte: IBGE (2010).

Unidades da federação e grandes regiões	Número de municípios		
	Espaço geográfico do semiárido	Espaço geográfico fora do semiárido	Espaço geográfico total
Alagoas	900.549	2.219.945	3.120.494
Bahia	6.740.697	7.276.209	14.016.906
Ceará	4.724.705	3.727.676	8.452.381
Minas Gerais	1.232.389	18,364.941	19.597.330
Paraíba	2.092.400	1.674.128	3.766.528
Pernambuco	3.655.822	5.140.626	8.796.448
Piauí	1.045.547	2.072.813	3.118.360
Rio Grande do Norte	1.764.735	1.403.292	3.168.027
Sergipe	441.474	1.626.543	2.068.017
Semiárido	22.598.318	-	22.598.318
Nordeste	21.365.929	31.716.021	53.081.950
Sudeste	1.232.389	79.132.021	80.364.410
Centro-Oeste	-	14.058.094	14.058.094
Norte	-	15.864.891	15.864.454
Sul	-	27.386.891	27.386.891
Brasil	22.598.318	168.157.481	190.755.799

Isso, por sua vez, reflete-se na redução da qualidade do solo e a interrupção da continuidade dos seus processos biológicos, que são responsáveis pela mineralização dos nutrientes orgânicos para a nutrição das plantas, resultando em uma queda acentuada na produção vegetal (LIMA et al., 2011).

Os índices produtivos oriundos dessas atividades tradicionais situam-se muito aquém dos necessários para a geração de renda familiar capaz de manter no campo a população rural, reforça as alterações provocadas pelos diferentes usos do solo na região semiárida, que apresenta características de solos e clima peculiares, devem ser estudadas para a proposição de modelos sustentáveis que maximizem a produção e evitem a degradação dos recursos naturais CORREA (2009).

Algumas políticas e programas destinados à região são insuficientes e muitas vezes inconsistentes, pois derivam de um pobre conhecimento sobre os recursos e sobre a complexidade da relação pessoas/ambiente (FILHO & SILVA, 2008).

Neste mesmo sentido, o Plano Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação da Seca – PAN BRASIL, aponta para uma área de 1.338.076 km² do território nacional, que atualmente encontra-se ameaçada de desertificação. Segundo MALVEZZI (2007), no Brasil o

fenômeno atinge principalmente o Semiárido, sendo que as regiões mais afetadas são Irauçuba (CE), Gilbués (PI), Seridó (RN) e Cabrobó (PE).

Para combater a devastação do bioma do semiárido, o Ministério do Meio Ambiente avaliou e identificou várias ações para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga (MMA, 2000).

Dentre estas ações, o manejo sustentável da caatinga busca maior equilíbrio do agroecossistema, em uma cultura de convivência, na qual o uso do solo consorciado com espécies arbóreas nativas ou exóticas (frutíferas e/ou madeireiras) com cultivos agrícolas e/ou animais favorece a diversificação, fornecendo contínuo aporte de matéria orgânica. Outro benefício do manejo da caatinga é suprir as necessidades alimentar dos animais (AGUIAR, 2008).

Os sistemas agrícolas diversificados e manejados de forma correta podem proporcionar o fortalecimento da renda e garantir a permanência dos povos no campo. Além disso, podem fomentar agricultura agroecológica, tornando-se alternativa ao modelo convencional e recuperador de áreas degradadas (PAULO, 2009).

As entidades e pessoas envolvidas minimização do processo de desertificação, particularmente no Semiárido, apontam a agroecologia, agrofloresta e o manejo da caatinga como caminhos para solução dessa problemática. A implantação de manejos agroflorestais, entretanto, precisa considerar a dinâmica do ecossistema em que está inserida e combinar a atividade agrícola de culturas anuais com o manejo de espécies nativas. Segundo estudiosos no assunto, através de sistemas de manejo baseados nos princípios agroecológicos, é possível recuperar áreas que já passaram pelo processo de desertificação (MALVEZZI, 2007).

Assim, percebe-se que além de todos os impactos antrópico ao ambiente do semiárido brasileiro, esse sofre ainda mais pela dificuldade de acesso à água e escassez de água e alimentos, que afeta a economia.

A agricultura é uma atividade que depende essencialmente de fatores climáticos, como radiação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e, principalmente da temperatura e da precipitação pluvial. A mudança climática pode afetar a produção agrícola de várias formas, uma delas é pela mudança em fatores climáticos, incluindo a frequência e a severidade de eventos extremos, pelo aumento da produção devido ao efeito fertilizador de carbono por meio de maiores concentrações de CO₂ atmosférico, pela alteração da intensidade de colheita devido a uma mudança no número de graus-dia de crescimento, dentre outros efeitos (EMBRAPA, 2012).

A agricultura depende, atualmente, de suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção não pode mais ser efetuado através da mera expansão da área cultivada (ESPANHOL, 2002).

2.1.3 Recursos hídricos

A região Nordeste, com 1,56 milhão de km² (18,2% do território nacional), contém a maior parte do Semiárido brasileiro, o qual é formado por um conjunto de espaços que se caracterizam pelo balanço hídrico negativo, resultante das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h ano⁻¹, temperaturas médias anuais de 23 a 27 °C, evaporação de 2.000 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50% (EMBRAPA, 2010).

O semiárido apresenta temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das chuvas em num curto período em média, de três meses, apresentando reservas de água insuficientes em seus mananciais.

Estudos relacionados às mudanças climáticas baseados em dados observacionais vêm demonstrando a redução de chuvas em regiões áridas e semiáridas no mundo (MOURA et al., 2006) (ASSIS, 2012). Na Austrália o Ministério das Mudanças Climáticas espera uma redução do escoamento superficial provocado pela mudança no sistema de precipitação pluvial, combinado com o aumento da evapotranspiração e a redução de vazão nas próximas décadas em importantes bacias (DEPARTAMENT OF CLIMATE CHANGE, 2012).

A maior parte do semiárido, de acordo com a classificação de Thornthwite (AYOADE, 1988), é classificada com índice de aridez (AI): a razão P/PET, em que (P) é a precipitação pluvial média anual e (PET) é a evapotranspiração potencial média anual (LOND et al. 2014). Na região semiárida, a razão P/PET varia de 0,20 a 0,50, enquanto no hiperárido é menor que 0,05 e em regiões secas e subúmidas pode atingir 0,65 (SOUZA FILHO, 2011).

O Semiárido apresenta alto potencial para evaporação em função de altas temperaturas e ausência de cobertura do solo, independentemente do que possa vir a ocorrer com as chuvas diante do aquecimento global, passaria a existir maior evaporação dos corpos hídricos superficiais como lagos, açudes e reservatórios, possibilitando maior presença de vapor de água na atmosfera e conseqüentemente, contribuindo para o aumento do efeito estufa e o

aquecimento global. Dessa forma, permitiria uma maior condensação e, portanto, a possibilidade de chuvas mais episódicas.

As mudanças climáticas em curso apontam que as temperaturas podem aumentar de 2 a 5 °C no Nordeste do Brasil, até o final do século XXI. Diante disso, estima-se que a caatinga será substituída por uma vegetação mais árida. O clima mais quente e seco afeta diretamente as atividades produtivas e poderá provocar migrações para as grandes cidades da região, ou para outras regiões do país (MARENGO, 2009).

Há uma ampla variabilidade espacial e temporal na ocorrência de água na região semiárida (SOUZA FILHO, 2011). A precipitação pluvial média durante um ano pode variar de 400 a 2000 mm (VAN OEL et al., 2010). Algumas características desta região são: rios intermitentes, secas periódicas, uso da água voltado para o abastecimento humano e agrícola, reservatórios com baixa eficiência hidrológica e valores baixos de precipitação e escoamento superficial (VIEIRA, 1995). Enquanto o escoamento superficial no país em geral é de $21 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, na região Nordeste é de apenas $4 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (SOUZA FILHO, 2011). Há muitos poços nesta região, muitos deles são abandonados devido à falta de segurança, de manutenção e por outras questões operacionais.

Além da seca na região Nordeste, há variações nos problemas de falta de água. Favero e Diesel (2008) enfatizam que a escassez de água pode ser consequência da seca, mas também pode ser criada artificialmente, como consequência da exploração inadequada de águas profundas e superficiais, degradação da qualidade da água, uso inapropriado do solo e diminuição na capacidade dos agroecossistemas para armazenar água. No Brasil, as águas subterrâneas são usadas por aproximadamente 40% da população (CARY et al., 2013; FOSTER et al., 2013; HIRATA et al., 2012; SUHOGUSOFF et al., 2013).

Em Pernambuco, devido às secas severas que atingiram o estado em 1998 e 1999 e também aos frequentes racionamentos de água na cidade, poços privados têm sido usados como fonte suplementar de abastecimento de água (SUHOGUSOFF et al., 2013). A maioria dos poços é feita em propriedades privadas e não é reconhecida pelas agências reguladoras. Embora os poços garantam a segurança hídrica durante períodos de seca, muitos deles são afetados por salinização e contaminação e sua situação dificulta o gerenciamento da água no estado. Como as medidas tecnológicas contra a salinização são de altos custos, muitos poços são abandonados.

A dependência de aquíferos é muito comum em grandes e médias cidades brasileiras, como Natal (RN), Fortaleza (CE), Brasília (DF) e São Paulo (SP) (SUHOGUSOFF et al., 2013). Dentro de um contexto ideal de gestão, o suprimento de água deveria contar com águas superficiais e de aquíferos como recursos complementares. (SUHOGUSOFF et al., 2013).

Apesar de o Brasil ser privilegiado com relação à disponibilidade hídrica do planeta, correspondendo a mais da metade da água da América do Sul e a 13,8% do total mundial, somando-se a isto cerca de 2/3 de um manancial subterrâneo que corre por baixo dos países do Mercosul, com extensão superior à Inglaterra, França e Espanha juntos, apresentam problemas relacionados à disponibilidade hídrica intra e inter-regionais, sendo afetado tanto pela escassez quanto pela abundância; assim como também, pela degradação causada em decorrência da poluição de origem doméstica e industrial (COSTA, 2009).

Enquanto a Região Norte possui água em abundância, concentrando 68% dos recursos hídricos brasileiros numa área com apenas 7% da população, a Região Nordeste apresenta como característica a de possuir grande parte do seu território coincidindo em área de clima semiárido, com uma precipitação pluvial anual média entre os 900 mm, chegando próxima a 400 mm, em algumas regiões.

As altas taxas de evaporação que ocorrem em superfícies livres de água representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica de uma região. O conhecimento das perdas por evaporação é a base para se determinar o volume potencial de água disponível, cuja informação é de suma importância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos da região.

O Semiárido brasileiro possui cerca de 70 mil açudes de pequeno porte, representando 80% dos corpos d'água nos estados do Nordeste. Os açudes também apresentam restrições relativas à qualidade da água, principalmente devido à salinização, o que gera prejuízo às culturas e aos terrenos à jusante, além de comprometer o consumo humano e outros usos da água. Estima-se que um terço dos açudes do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) apresente esse problema em seus perímetros irrigados (SUASSUNA, 2002).

Esse quadro é agravado pelo fenômeno da evaporação que provoca perdas significativas de água, tanto em termos qualitativos, quanto quantitativos. A evaporação varia de 1000 mm ano⁻¹ no litoral da Bahia e Pernambuco, atingindo 2000 mm ano⁻¹ no interior, sendo que na área de Petrolina – PE, pode chegar a 3000 mm ano⁻¹ (IICA, 2002).

Esses dados foi confirmados por MOLLE (1989) em pesquisas realizadas com base em dados de 11 postos distribuídos no Semiárido e séries históricas variando entre 8 e 25 anos, em que a evaporação média anual medida em tanque classe “A” aproximou-se de 3,0 m, variando entre 2.700 a 3.300 mm, sendo que os valores mais elevados ocorrem nos meses de outubro a dezembro e mínimos de abril a junho.

O Semiárido necessita de investigações criteriosas do balanço hídrico para que os açudes cumpram a função para a qual foram projetados. Segundo o Projeto árido (IICA, 2002),

açudes foram construídos sem planejamento e critérios de dimensionamento adequados, gerando o não sangramento de inúmeros desses aproveitamentos e, conseqüente problema com a qualidade da água que não se renova anualmente, apenas evapora, aumentando a concentração de sólidos dissolvidos totais que representam a salinidade da água. Isso é fruto da cultura local que considera o vertimento como perda de água.

O déficit hídrico no Semiárido é visto, quase sempre, sob o seu aspecto quantitativo, sem analisar a qualidade da água disponível. Esta visão conduz a “soluções” que priorizam a acumulação de água, como se a presença deste bem fosse suficiente para diminuir todos os problemas causados pela sua escassez. Neste contexto, o gerenciamento dos recursos hídricos não deve ser realizado dissociando os aspectos quantitativos e qualitativos, para permitir uma visão ampla e conduzir a soluções apropriadas.

O processo de salinização que ocorre em corpos d’água pode ter como origem razões geológica milenares ou ações antrópicas recentes, assim como a orientação de medidas preventivas para assegurar a qualidade da água devem considerar esse fenômeno (evaporação) como demanda de água a ser computada e gerenciada de forma a cumprir os preceitos de vazão ecológica e prevenção em relação à degradação ambiental. Outro aspecto é a quantidade de açudes construídos em uma mesma bacia hidrográfica, podendo acarretar a sua exaustão hídrica e, como consequência direta, a criação de espelhos d’água sujeitos à evaporação. Uma avaliação importante para a gestão das águas é a comparação entre a eficiência dos pequeno e grande lagos, quanto às perdas por evaporação para dar subsídio à escolha do tamanho adequado do reservatório a ser construído.

Essa questão é abordada por Campos (2002) na análise da influência da evaporação em 40 reservatórios superficiais no estado do Ceará. Os resultados desse estudo mostram que os grandes reservatórios apresentaram uma evaporação média de 7% do volume médio afluente anual, enquanto que os pequenos 18%. Desse modo, o autor concluiu que existe uma tendência de os grandes açudes serem mais eficientes que os pequenos.

Vários estudos apontam, com unanimidade, em todos os municípios e regiões atualmente estudados no semiárido, na maioria dos meses a evapotranspiração foi superior à precipitação, o que significa dizer que a água recebida durante o período chuvoso é perdida para a atmosfera por processos evaporativos e de evapotranspiração (ASSIS, 2012).

Segundo, em relação às perdas evaporativas, tanto a elevada temperatura já registrada no semiárido de Pernambuco quanto o aumento projetado nos cenários globais e regionais do IPCC, são uma indicação segura de que a perda de água por evaporação deve aumentar

significativamente sobre o Nordeste durante as próximas décadas, aumentando assim o potencial de desertificação de áreas hoje classificadas como semiáridas (NOBRE et al.; 2011).

Essa característica climática é o principal fator que afeta a produção agropecuária dessa região, sendo importante a aplicação de estratégias específicas para obter maior rendimento na produção de forragens (PERAZZO et al.; 2013).

Assim, agricultores passam por dificuldades em manter os reservatórios com água, de forma intermitente para irrigar suas plantações é uma realidade observada há muito tempo. A escassez de água da chuva na região nordeste fez com que o homem do campo se tornasse um verdadeiro herói no sentido de continuar a fazer cultivo de produtos, seja para sua subsistência, seja para comercialização. Essa é uma situação que pode ser evitada com a utilização do esgoto doméstico tratado, desempenhando papel importante no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como substituto da água destinada para fins agrícolas e de irrigação, por exemplo, sendo útil às culturas aumentando a produtividade (SARAIVA et al.; 2013).

A água é um fator limitante nas regiões áridas e semiáridas, para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, sendo necessária a busca de novas fontes de recursos para complementar à pequena oferta hídrica ainda disponível (TELES et al.; 2007).

2.2 A IMPORTÂNCIA DO REUSO COMO ESTRATÉGIA DE CONVIVÊNCIA NO SEMIÁRIDO

Nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Dependendo de ações planejadas e entidades de recursos hídricos detentoras de conhecimentos na gestão de novas fontes de recursos para complementar à pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (DANTAS, 2014).

Estudos comprovam que a reutilização de esgotos na irrigação, tratados ou não, é uma alternativa para a produção agrícola, além de ser uma prática antiga em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No entanto no Brasil o reuso de águas servidas é bem recente, com utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral, de forma não controlada e com poucas orientações técnicas (MARQUES et al.; 2003).

Nos países do oriente médio, onde as precipitações médias variam entre 100 e 200 mm por ano, dependem de alguns poucos rios perenes e pequenos reservatórios de água subterrânea, geralmente localizada em regiões montanhosas, de difícil acesso. A água potável atual é de sistemas de dessalinização da água do mar, devido à impossibilidade de manter uma agricultura

irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos é proveniente da importação de produtos alimentícios básicos (HESPANHOL, 2008).

Os efluentes de estação de tratamento de esgoto, quando realizado de forma controlada é altamente viável ao cultivo agrícola, além de oportunizar as fontes de recursos hídricos de melhor qualidade para outras atividades humanas, gerando também economicidade em adubos sintéticos, pois é fonte de nutrientes essenciais aos cultivos agrícolas (SILVA, 2008).

O uso dos esgotos sanitários, além de representar oportunidades de natureza econômica, social e ambiental, é uma estratégia de enfrentamento de situações de acentuada escassez de recursos hídricos (FLORENCIO et al., 2006).

O reuso planejado de águas residuárias domésticas é uma oportunidade de amenizar os problemas de escassez hídrica no semiárido para o cultivo agrícola, sendo uma oportunidade para os agricultores, principalmente aqueles que vive em áreas circunvizinhas dos centros urbanos e nas áreas rurais (HESPANHOL, 2008).

O cultivo agrícola com o uso de esgoto se constitui em importantíssima estratégia política gestão de recursos hídricos. Muitos países situados em regiões áridas e semiáridas, tais como os do norte da África e os do Oriente Médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade (águas de drenagem agrícola e águas salobras), como parte integrante dos recursos hídricos nacionais, equacionando a sua utilização em seus sistemas de gestão, urbanos e rurais (HESPANHOL, 2008).

Lagoas de estabilização com irrigação do efluente no cultivo de maneira planejada constituem uma solução barata e com grande eficiência na remoção de metais pesados, coliformes fecais e nutrientes do esgoto. Este tipo de tratamento é bastante adotado em regiões semelhantes à do nordeste brasileiro (SILVEIRA, 2008).

Sabe-se que o crescimento demográfico resulta em maior demanda na exploração e utilização da água, da geração de todo o tipo de águas residuárias, as quais são lançadas diretamente nos recursos hídricos, levando a um processo de deterioração deste recurso natural (HUSSAR et al.; 2005).

Através do ciclo hidrológico a água se constitui em um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é através da atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As diferentes possibilidades e formas de reuso dependem das características, condições e fatores

locais, com tomada de decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2008).

Há enormes benefícios no uso planejado do esgoto doméstico na agricultura, vindo em vista a diminuição de fontes de nitrogênio e fósforo que em breve haverá um esgotamento. Por outro lado, as águas residuárias disponibilizam micronutrientes e muito nitrogênio e fósforo (DAMASCENO, 2015).

Esgoto bruto ou até mesmo efluente tratado secundário é rico em nutrientes minerais necessário para o crescimento da planta (nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes). Experiências têm demonstrado repetidamente que o reuso de águas servidas, seja ela tratadas ou não é uma fonte necessária para uma maior produtividade das culturas agrícolas irrigadas com águas residuais, em comparação com água limpa. Os nutrientes presentes é um recurso de valor considerável quando comparado com o custo equivalente de fertilizantes (BRAATZ et al.; 2002).

A aplicação das águas residuais assegura um equilíbrio entre aporte de nutrientes e absorção pelas plantas, no qual promover crescimento ótimo das plantas, assim, tal finalidade do reuso, tem como resultado a diminuição de poluição de esgotos lançados ao ambiente (CSIRO, 1995).

Trabalhos relativos à praticidade do reuso e sua importância foi demonstrada na fórmulas de cálculos na Austrália em relação ao aporte de nutrientes a ser usados nos cultivos agrícolas, além de contabilizar os teores de nutrientes presentes nas águas residuais para a irrigação dos cultivos (CSIRO, 1995).

Estudos demonstraram que no Município de Lins - SP os agricultores são favoráveis ao cultivo agrícola utilizando o reuso de água proveniente de ETE, eles são unânimes em afirmarem que é importante, pois é um meio alternativo de fertilização e economicamente interessante. Desmistificando a hipótese de que haveria uma barreira cultural, por se tratar de esgoto doméstico (SILVA, 2008).

Com o teor de Nitrogênio de um efluente de 10 a 30 mg L⁻¹ (média de 20 mg L⁻¹), além de uma concentração de fósforo entre 4 a 10 mg L⁻¹ (média de 7 mg L⁻¹), assim, assumindo uma taxa média anual de águas residuais com aplicação de 8000 m³ ha⁻¹ de esgoto, dessa forma, teremos uma entrada total anual de 160 kg ha⁻¹ nitrogênio (N) e 56 kg ha⁻¹ fósforo (P) (DE ALMEIDA MARTELLI, 2011).

Atualmente o mundo todo já se preocupa com o uso racional dos resíduos de esgotos doméstico, na a água residuária se encontram as maiores partes dos nutrientes para os cultivos, e pode ser com alguns cuidados, como o monitoramento do solo, utilizada como fonte de água

para irrigação (ALVES, et al.; 2009). Desta forma o uso de águas residuárias domésticas tratadas em irrigação é uma fonte alternativa de água para as culturas irrigadas no Nordeste, como ressaltam SOUSA & LEITE (2002).

Uma cultura para obter o crescimento e desenvolvimento normal pode levar até 120 a 150 kg.ha⁻¹ de Nitrogênio e cerca de 12 kg.ha⁻¹ de P por ano, constatando que os níveis de nutrientes presentes são suficientes e estará disponível para o máximo potencial do crescimento das cultura. Bem verdade, que nem todo esgoto se comporta dessa maneira nos seus teores de nutrientes, ou seja, uns mais, outros menos, isso depende muito dos diferentes usos das águas preliminarmente, da mesma forma, as culturas agrícolas tem exigências diferenciadas com absorção de nutrientes (HERNANDES, 2010).

Um equilíbrio entre entrada e absorção de nitrogênio que, na forma de nitrato, é móvel e representa o maior risco de lixiviação e contaminação da água subterrânea. Qualquer excesso de fósforo será realizado no solo e não constitui uma poluição risco (FROEHNER, 2010).

O mundo já sente a escassez de água doce que está se tornando um problema crescente principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo (EL YOUSSEFI et al., 2012). Esta tendência é também preocupante em outras regiões do mundo. O crescimento exponencial populacional e especificamente dos povos nos centros urbanos continua a colocar em riscos as fontes de água doce ainda existentes. Ocasionalmente em uma séria de lutas na disputa dessas águas para equilibrar o uso entre os urbanos, industriais e os usuários agrícolas (DARVISHI et al., 2010).

País como Israel valorizam tanto as águas residuais que consideram essas águas como parte integral dos recursos hídricos, realizando o reuso durante quase quatro décadas. Chegando a reutilizar 75% de todas as suas águas residuárias. Convivendo com uma realidade de falta de água constante, o País que consumia, em 1985, quase 70% da água doce interna, passa a consumir menos de 40% em 2015 (MEDEIROS et al.; 2011).

Estudos pioneiros sobre a aplicação de água tratada residuais urbanas em floresta como meio de purificação nos lençóis freáticos foram realizados na Pensilvânia Central nos Estados Unidos entre 1963-1977. Efluente de esgoto que tinham sido submetidos a tratamento secundário, foi usado na irrigação de três diferentes Florestas: Uma área constituída principalmente de carvalhos (*Quercus spp.*); uma plantação de pinheiro vermelho (*Pinus resinosa*) e com (*Picea glauca*). As pesquisas demonstram ao mundo, é possível utilizar que a água tratada de resíduos urbana, em florestas, com os benefícios do restabelecimento da água nos ambientes naturais, recarregando as reservas de águas subterrâneas e contribuindo para o crescimento das árvores nativas (WORRELL, 2016).

Os Estados Unidos no início deste século utilizam os esgotos de forma planejada, sendo o Estado da Califórnia o pioneiro na implementação de programas, estabelecendo, em 1918, os primeiros padrões de qualidade de águas residuárias. Também nesse mesmo ano, com o monitoramento e avaliações ficou proibida a utilização de efluentes brutos e de tanques sépticos para irrigação de vegetais ingeridos crus. A versão original foi sofrendo modificações, tornando-se mais restritiva (ARAÚJO, 2000).

Modelos de tratamento de águas residuais semelhante ao testado na Pensilvânia foram aprovados em partes da Espanha, comunidades ao longo do Rio Cinca no município de Monzón utilizavam esgoto doméstico tratado (NAVARRO, 1977).

A partir de 1955, o reflorestamento com choupos (*Populus Euroamericana*) irrigadas com água do rio foi realizada em 14 ha para plantio mata ciliar do Rio Cinca e conter as enchentes. Desde o início dos anos 1960, essa plantação foi irrigada exclusivamente com águas residuais não tratadas. Em 1977, foi relatado que havia sido estabilizado 7 km de margem do rio e que solos improdutivos anteriores tinham sido melhorado sua fertilidade, com essa prática chegou-se a uma produção de árvore maior do que havia sido previsto o retorno do investimento através de corte e venda da madeira (HERNANDEZ, 1977).

Em Israel existem nos municípios parcerias entre os setores urbanos e rurais, acerca do tema reuso de águas. Os grandes projetos do País são operados pela companhia governamental da água (Mekorot), que vende águas residuárias já tratadas aos agricultores. Algumas ETEs de tamanho médio são de propriedade e operadas pelos municípios, que também vendem, ao setor rural, as águas residuárias tratadas, além disso, pequenos povoados constuma ter seus próprios sistemas de reuso que são utilizados nos cultivos agrícolas (MEDEIROS et al.; 2011).

A Austrália também está usando cada vez mais aplicação no solo como uma forma eficaz de eliminar de forma segura e produtiva as águas residuais tratadas, cuja descarga em rios tem sido a causa da proliferação de algas e eutrofização em alguns lugares. As plantações de árvores são eficazes na remoção de nitrogênio e fósforo de efluente tratado antes de entrar no sistema de água e oferecem benefícios adicionais na ecologização da Austrália e o apoio às indústrias florestais locais. A área de plantações de árvores irrigadas com efluente aumentou de 500 ha em 1991 para cerca de 1500 ha em 1995. Há agora mais de 60 plantações de efluentes irrigado, variando em tamanho de um a várias centenas de hectares (CSIRO, 1995).

Na Índia, onde 10 000 milhões de litros de águas residuais domésticas são gerados por dia, apenas 37% das águas residuais submetidas a tratamento primário e apenas 8% sofre de tratamento secundário. Na concepção de um sistema, uma atenção especial deve ser dada às características local, taxas de uso de água, a adequação de distribuição de água e métodos de

aplicação, a seleção de espécies potencial de mercado, dinâmica de nutrientes, o acúmulo de sais no solo e o efeito da salinidade sobre as taxas de crescimento das árvores também são questões críticas (WORRELL, 2016).

Tem sido sugerido que agroflorestal ou a integração de árvores com culturas agrícolas, pode ajudar equilíbrio da entrada de nutrientes provenientes de aplicação de águas residuais com absorção pelas plantas, porque a demanda de nutrientes para as plantações de árvores diminui após os primeiros anos de crescimento rápido, a introdução de cultivos agrícolas em anos posteriores pode permitir a entrada de nutrientes para permanecer constante, sem risco de sobrecarga dos nutrientes no sistema. A utilização de práticas agroflorestais em sistemas de irrigação de águas residuais, no entanto, quase não foi investigada, claramente, há algum potencial na utilização das águas residuais para a silvicultura irrigada e agrofloresta, mas muitas pesquisas ainda estão a caminho a ser feito, antes que este potencial possa ser realizado (WORRELL, 2016).

O uso de esgoto sanitário tratado nos cultivos tem como grande importância a utilização de fonte de nutrientes, além de promover benefícios ao meio ambiente e ao produtor rural, que irá reduzir seus custos com aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade agrícolas (LÉON SUEMATSU et al.; 1999).

Pesquisas aponta que a utilização das águas residuárias na agricultura pode-se conseguir produções superiores aos irrigados apenas com água, além de reduzir a necessidade do uso de fertilizante mineral. SANTOS (2004) e FONSECA et al. (2007b) sistematizaram trabalhos envolvendo a irrigação de diversas culturas (algodão, canola, cereais, trigo, sorgo, culturas forrageiras) com o efluente de esgoto tratado, com respostas altamente positivas. Estudando a cultura do sorgo irrigado com efluente da Estação de Tratamento de Esgoto-ETE e água convencional, verificou-se que as plantas produziram mais com o uso de água de ETE.

O que se pode afirmar é que se usado de forma correto as águas negras, cinzas são consideradas uma ótima alternativas na produção de alimento, considerando que estudos apontam entre 70 a 75% da água potável é utilizada na produção agrícola do planeta, chegando alguns países alcançar um consumo ainda maior do que a média mundial. Assim, a aplicação de esgoto no solo é uma opção de controle da poluição e uma estratégia de aumentar à disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas, aliado a produção de alimentos. Os maiores benéficos dessa prática são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e da saúde pública (BRAGA et al.; 2015).

2.3 A CULTURA DO SORGO E SUA IMPORTÂNCIA

O sorgo é uma planta da família poaceae, do gênero sorghum, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. É uma planta C4, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas. Em sua grande maioria, os materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21 °C para um bom crescimento e desenvolvimento. Sua estrutura radicular é composta por raízes que por possuir sílica na endoderme, grande quantidade de pêlos absorventes e altos índices de lignificação de periciclo, conferem à cultura maior tolerância ao déficit hídrico e o excesso de umidade no solo, do que os demais cereais. O caule por sua vez é dividido em nós e entrenós e folhas ao longo de toda a planta, Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco. Atinge 1 a 4 metros de altura, gerando uma inflorescência terminal do tipo paniculado. Uma espiga séssil, fértil, acompanhada por duas espiguetas estéreis pedunculadas que caracterizam o gênero (DINIZ, 2010).

Diante de uma demanda cada vez mais aquecida, os produtores estão enfrentando dificuldades em cumprir os contratos de venda, elevando os preços do etanol, ficando o biocombustível pouco atrativo em relação à gasolina, devido ao congelamento do preço do combustível fóssil. Para suprir o mercado, o setor tem que retomar o movimento de expansão, aumentando não só a capacidade industrial, mas, principalmente, a área cultivada com matéria-prima, além de manter a idade média do canavial reduzida, o que resultará em produtividades adequadas, diminuindo o custo de produção da matéria-prima.

Neste cenário, o sorgo sacarino apresenta-se como alternativa promissora para complementação no fornecimento de matéria-prima para indústria sucoenergética. O sorgo sacarino é o termo utilizado para descrever tipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) que apresentam altas concentrações de açúcar nos colmos, sendo cultivado em diversos países com finalidade de produzir alimento, forragem para animais, fibra e energia, têm larga adaptabilidade, são tolerantes à seca e podem produzir entre 40-70 t ha⁻¹ de biomassa com o Brix (sólidos solúveis totais) variando de 16 até 23% (ALMODARES e HADI, 2009).

O alto teor de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo é comparado à cana-de-açúcar, com o benefício de obter esse rendimento em período mais curto, utilizando cultivares que variam o ciclo de 100 a 120 dias. A propagação é realizada via sementes.

O sorgo sacarino pode ser colhido durante a entressafra da cana-de-açúcar, beneficiando a indústria sucoenergética, que não ficaria sem matéria-prima para a produção de etanol nesse período. Além disso, a elevada produção de biomassa, a antecipação da colheita em relação à cana-de-açúcar e utilização do mesmo processo industrial da cana-de-açúcar sem modificações

colocam o sorgo sacarino como excelente matéria-prima para produção de etanol, tendo como primeira estratégia, seu cultivo nas áreas de renovação, visando antecipar o período de moagem em cerca de 45 dias (TEIXEIRA et al., 1997; PARRELLA et al., 2010).

Os principais desafios encontrados na cultura do sorgo sacarino para o modelo de negócio proposto estão relacionados ao sistema de produção que se encontra em desenvolvimento. O ambiente de produção normalmente é composto por solos cultivados com cana-de-açúcar intensivamente, durante seis anos em média. Pesquisas científicas relacionadas ao melhor arranjo de plantas, incluindo espaçamento entrelinhas e população de plantas para os cultivares atuais, disponíveis de sorgo sacarino, estão sendo realizadas, atentando para o efeito no controle de plantas daninhas, pragas, doenças, acamamento de plantas e aproveitamento de água e fertilizantes.

Albuquerque et al. (2010) ao avaliar os espaçamentos 50; 70; 90 e 110 cm e populações de 100 mil, 150 mil, 200 mil e 250 mil plantas ha⁻¹ para as variedades de sorgo sacarino BRS 506 e BRS 507 em diferentes locais do Estado de Minas Gerais, observaram que o aumento da população em até 250 mil plantas ha⁻¹ propiciou incrementos na produtividade de biomassa verde, porém, sem elevações na massa de colmo por hectare, devido à redução do diâmetro com o aumento do número de plantas por hectare.

Entretanto, além da semeadura na entressafra em áreas de reforma de canaviais, vislumbra-se a introdução do sorgo sacarino para ser processado durante a safra com a cana-de-açúcar, aumentando assim a janela para colheita e, conseqüentemente, a semeadura em diferentes épocas do ano.

Bandeira et al. (2012) estudaram o desempenho dos cultivares BRS 506 e FEPAGRO19 em três épocas de semeadura (outubro, novembro e dezembro) em Santa Maria (RS), e concluíram que a semeadura de novembro foi a mais adequada por não sofrer com quedas acentuadas de temperaturas diurnas e noturnas e, períodos de excesso hídrico ocorridos no mês de outubro ou por altas temperaturas do ar (média de 42 °C) no mês de dezembro.

A cultura do sorgo uma excelente alternativa, tanto para a produção de álcool, grãos, forragens e biomassa, além de se destacar superior ao milho na produção de matéria seca (MS), apresentando principalmente a vantagem de uma maior adaptabilidade a regiões com distribuição irregulares de chuvas, com solos rasos e de baixa fertilidade, que são características de regiões semiáridas (ROCHA JÚNIOR et al., 2000).

Aliado a escassez de forragem devidos as características de seca, e o baixo valor nutritivo da forragem comprometendo o desenvolvimento dos animais, resultando em diminuição da produtividade e diminuir a produção de leite e carne, o que torna os produtores

dependem da disponibilidade de forragens como feno ou silagem de plantas forrageiras cultivadas e resíduos de culturas para alimentar o gado em regiões semiáridas, o sorgo se torna a melhor opção para o semiárido (PERAZZO et al., 2014).

2.4 SORGO GRANÍFERO

As condições climáticas para produção de milho sequeiro proporcionam aumento da área cultivada com o sorgo para alimentação de animais, por ser altamente tolerante aos veranicos e as temperaturas elevadas, podendo substituir o milho na forma de rações concentradas, mistura múltipla proteinada ou forrageira armazenados em silos. Alguns trabalhos realizados na década de 1970 já apontava a viabilidade técnica do cultivo do sorgo para à produção de grãos e silagem na região norte do Estado de Minas Gerais (MOREIRA et al, 1977a; BORGONOVE et al, 1979; MOREIRA et al, 1977b.; AZEVEDO et al., 1977).

Devido ao fato de não apresentar proteção para sementes, como, por exemplo, a palha de milho ou as glumas do trigo e da cevada, a planta de sorgo produz vários compostos fenólicos, os quais servem como uma defesa química contra pássaros, patógenos e outros competidores. Toda planta de sorgo possui aproximadamente os mesmos níveis de proteína, amido, lipídios etc., porém vários compostos fenólicos podem ocorrer ou não. Entre esses compostos, destaca-se o tanino condensado, substância adstringente, acarretando ao grão problemas de digestibilidade (MAGALHAES et al., 2000)

Agronomicamente, os sorgos são classificados em quatro grupos. O granífero, com porte baixo adaptados à colheita mecânica; forrageiro para produção de silagem ou etanol, devido ao porte alto; forrageiro para pastejo corte verde, fenação e cobertura morta; e por fim o vassoura cujas panículas são confeccionadas vassouras, mais conhecidas como vassoura caipira. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica, sendo um dos cereais mais importantes do mundo, em termos de produção. É o quinto cereal mais produzido, permanecendo atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada. É utilizado como alimento humano em muitos países da África, Sul da Ásia e América Central e é importante componente da alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul. A utilidade dos grãos do sorgo reside na produção de farinha para panificação, amido industrial, etanol. A planta serve também como forragem ou cobertura de solo (RODRIGUES e SANTOS, 2011; FAO, 2012).

No Brasil, a cultura do sorgo avançou de modo significativo a partir da década de 1970. Desde então, a área cultivada tem apresentado variações, devido à política econômica, sendo a

comercialização o principal fator limitante. Atualmente, a cultura apresenta grande expansão, em média 18% ao ano, a partir de 2001, principalmente em semeaduras de sucessão a culturas de verão, com destaque para os maiores produtores, em ordem decrescente, os Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e São Paulo, onde se concentram 89% do sorgo granífero cultivado no país. O estado de Minas Gerais responde por aproximadamente 20% da produção nacional, em 126 mil hectares plantados, produzindo 443,7 mil toneladas de grãos, resultando em rendimento médio de 3.521 kg ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2012b).

No contexto da produção de biocombustíveis, o sorgo sacarino vem se destacando mundialmente como relevante opção de matéria-prima para produção de etanol, tanto do ponto de vista agrônômico quanto industrial.

O sorgo sacarino é cultivado em 99 países, em 44 milhões de hectares, principalmente em áreas de baixa fertilidade e semiáridas (SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI et al., 2007). Em países como China, Índia, EUA, Irã, Itália, Espanha, entre outros, o sorgo sacarino é considerado matéria-prima promissora para produção de etanol, e diversos trabalhos de pesquisa vêm sendo desenvolvidos com essa cultura nesses países (WORTMANN et al., 2010).

No Brasil, a EMBRAPA Milho e Sorgo (Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo) iniciou um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino, na década de 70. Inicialmente foram introduzidos 50 genótipos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), África e Índia, os quais foram caracterizados agronomicamente. Em 1987, as primeiras variedades brasileiras foram desenvolvidas com potencial para produção de etanol, sendo o BRS 506 e BRS 507, e o híbrido BRS 601. Contudo, com o insatisfatório êxito do Proálcool e da política nacional direcionada para grandes destilarias, o foco das pesquisas com sorgo sacarino foi redirecionado para a produção de cultivares forrageira (PARRELLA, 2011).

Em 2008, a EMBRAPA Milho e Sorgo reiniciou seu programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino, devido ao potencial desta cultura na geração de energia renovável e devido à grande demanda por matéria-prima alternativa para a produção de etanol nas grandes destilarias. Novas metas de rendimento e qualidade do sorgo sacarino estão sendo buscadas pelo programa.

A Cultura do sorgo é muito relevante importância na agricultura, pois representa o quinto cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás somente do trigo, arroz, milho e cevada e constitui nos Países Africanos a maior fonte de alimento e de rações, no Oriente e Oriente Médio, especialmente na Nigéria, Etiópia e Índia (SOUZA et al., 2005).

O sorgo tornou-se uma cultura de grande importância em vários Estados do Oeste dos EUA, principalmente após o descobrimento, por Stephens e Holanda, em 1952, da

machoesterilidade citoplasmática, que possibilitou o aproveitamento da heterose para a produção comercial de sementes Híbridas (SANTOS, et al., 2005).

Após longo Período de Adaptação da cultura, várias experiências e trabalhos de melhoramento foram realizados visando atender às novas modalidades de utilização e diferentes métodos culturais. Dessa forma, foi nos EUA que, por meio do melhoramento genético de cultivares antigas, se chegou aos diferentes tipos cultivados hoje (PINHO & VASCONCELOS, 2002).

Os grãos de sorgos são úteis na alimentação humana, rações bovinos, peixes, aves, produção de farinha para panificação, de amido industrial e de Álcool e a planta pode Ser utilizada como forragem ou cobertura de solo (RODRIGUES & SANTOS, 2007).

Devido à sua capacidade de adaptação, tolerância a temperaturas elevadas e também por possuir características xerófilas, seu cultivo apresenta grande potencial em regiões com distribuição de chuvas irregulares e em sucessão a culturas de verão. Esse diferencial è importante em sistemas de produção em Regiões semiáridas que não disponham de Irrigação (OLIVEIRA et al., 2002) e com precipitação inferior a 600 milímetros anuais (SANTOS, 2003).

Isso é possível porque o sorgo possui características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico e reiniciar o crescimento, quando a água se torna disponível (MASOJIDEK et ai, 1991.; MAGALHÃES & DURÃES, 2003). Além disso, logo após o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até crescer mais rapidamente do que as que não sofreram estresse. Essa situação ocorre, provavelmente, pelo acúmulo de fotoassimilados pouco utilizados no período de estresse, que ficam disponíveis para estimular o crescimento, quando a água se torna novamente disponível (HARTLEY et al., 1992).

Outra Característica que favorece uma maior eficiência na absorção da água do solo e a tolerância à seca é o sistema radicular profundo e ramificado da planta. quando comparado ao milho, o sorgo e mais tolerante em temperaturas altas e menos tolerante a temperaturas baixas. A temperatura baixa afeta o desenvolvimento da panícula, principalmente por seu efeito sobre a esterilidade das espiguetas (MAGALHÃES & DURÃES, 2003).

2.5 CULTIVARES DE SORGO PARA À PRODUÇÃO DE SILAGEM

A estacionalidade na produção forrageira e a necessidade de produzir leite e carne durante todo o ano têm levado os pecuaristas a adotarem práticas de conservação de forragens, principalmente na forma de silagem.

O sorgo forrageiro constitui uma opção viável para atender à demanda dos pecuaristas, em razão das suas características bromatológicas que, á semelhança do Milho, possibilitam fermentação adequada e conseqüente conservação desse alimento sob a forma de silagem, pelos teores de elevados proteína bruta em algumas variedades (WHITE et al., 1991) e Pelas características agronômicas, como maior tolerância à seca (CUMMINS, 1981).

As cultivares de sorgos disponível para a silagem no Brasil são classificadas como forrageiras e de duplo propósito (para produção de forragem e de grãos).

As cultivares forrageiras tem porte acima de 2,70 metros de altura, o que confere alto potencial de produção de matéria verde, com produtividades variando de 50 a 70 tha^{-1} no primeiro corte já as cultivares de duplo propósito tem porte de 2,0 a 2,30 metros de altura, com produtividade de 40 a 55 t ha^{-1} no primeiro corte (MIRANDA & PEREIRA, 2006).

As plantas de menor porte tendem a aumentar a participação de panículas na matéria seca, o que interfere positivamente no valor nutritivo da silagem (ARAÚJO et ai., 2002). Sendo assim, as cultivares de duplo anatómicas da planta, definindo um perfil médio da planta de sorgo para silagem (NEUMANN et al, 2003;. GONTIJO NETO et al., 2004). Avaliando a composição física da planta de diferentes híbridos de sorgo, Neumann et al. (2003) verificaram valores para os componentes colmos, folhas e panículas de 48,1, 29,4 e 22,6; 49,6, 25,2 e 25,2%; 40,2, 32,7 e 27,1%; 26,2; 28,2 e 45,6% para os híbrido AGX-213, AG-2005E, AG-2002 e AGX-217, respectivamente.

As empresas de Melhoramento desenvolveram híbridos com bom equilíbrio colmo entre, folha e panícula, com objetivo de aliar uma boa produtividade de matéria seca e bom valor nutritivo (ZAGO, 1991).

Estudos revelam que é possível caracterizar os diferentes híbridos de sorgo para silagem por meio da participação percentual e da Composição bromatológica das principais estruturas.

O rendimento forrageiro do sorgo e o valor nutritivo das cultivares são características que devem ser levadas em consideração na escolha do tipo de sorgo a ser cultivado, porém, suas características são altamente influenciadas pelas condições ambientais da região de cultivo (PORTUGAL et al., 2003).

Ao avaliar características químicas, agronômicas e degradabilidade de cultivares de sorgo para silagem no município de Lavras, MG, RESENDE (2001), observou valores médios de 28,7% para matéria seca e 6,7% de proteína bruta, fibra em detergente neutro com 50% 31,6% além de fibra em detergente para ácido.

Já Pinho e Vasconcelos (2007) relataram valores de proteína bruta de 8,9 e 8,06%, fibra em detergente neutro de 42,9 e 45,8% e fibra em detergente ácido de 26,2 e 28,6%. Os primeiros

valores referem-se ao grupo de sorgo duplo propósito e o segundo, ao grupo de sorgo forrageiro. A silagem propósito de sorgo duplo apresentou valor nutricional superiores ao fazer sorgo forrageiro. Neumann et al. (2002) observaram também maior valor nutritivo e produtividade menor de sorgos duplo (AGX-217 e AG-2005-E) quando comparados com sorgos forrageiros (AGX-213 e AG-2002).

Plantas de sorgo de porte baixo possuem maior valor nutritivo devido à maior participação de panículas na massa ensilada. Este componente da planta de sorgo defini a qualidade da silagem, por apresentar maiores teores de matéria seca, proteína bruta e digestibilidade in vivo da matéria seca e menores teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, celulose e lignina mais cinzas, comparado ao conjunto de colmo e folhas (NEUMANN et al., 2002).

Com relação à fibra, DANLEY & VETTER (1993) encontraram valores entre 50,4 e 70,0% de fibra em detergente neutro e 29,4 e 50,9% de fibra em detergente ácido na matéria seca da silagem de sorgo. Ao estudar a produtividade, o valor nutritivo das silagens de sorgo cortados em seis épocas, FERNANDES (1978) verificou que a melhor qualidade foi alcançada quando a planta apresentava de 30 a 40% de matéria seca, ou seja, sem estágio pastoso á dos farináceos grãos. entretanto, quando se atrasa uma colheita, além de ocorrer perda de qualidade aumenta a fibra, em cerca de 30 a 50% dos grãos ingeridos que são desperdiçados por meio das fezes.

Em relação ao valor nutritivo, VAN SOEST (1994) afirma que o valor nutritivo das forrageiras representado pela associação da composição bromatológica, da digestibilidade e do consumo voluntário. Os parâmetros mais utilizados para uma avaliação da composição químico-bromatológica são as proteínas bruta (PB), fibra em detergente um neutro (FDN), fibra em detergente um ácido (FDA), a lignina (LG), o extrato etéreo (EE) e como cinzas (NUSSIO, 1991). Dentre essas características, uma FDN e A FDA, por se referirem à fibra, also servem de indicativo da digestibilidade dos materiais.

2.6 CULTIVARES DE SORGO PARA A PRODUÇÃO DE GRÃOS

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor*, L. Moench) é considerado o quinto cereal mais importante do Mundo, cultivada em área. No Brasil, o sorgo surgiu como uma cultura comercial a partir de 1970, em áreas de cultivo expandidas. Além disso, esta espécie substitui o milho em regiões consideradas marginais. A partir de 1995, a cultura apresentou uma grande expansão, com crescimento de 20% ao ano, principalmente em plantios de sucessão de culturas de verão,

com destaque os Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Região do Triângulo Mineiro, onde se concentra aproximadamente 85% do sorgo granífero plantado no país (RODRIGUES & SANTOS, 2007).

Um dos fatores que favoreceram a expansão da área de sorgo na região do cerrado do Centro-Oeste foi a adoção do sistema de plantio direto, com uma semeadura de soja na safra de verão e de outono uma gramínea não inverno, destacando-se o milho, o sorgo granífero e o milheto a formação de palhada, visando à proteção do solo e à obtenção de renda com a venda de grãos (TSUNECHIRO et al., 2002).

Os grãos de sorgo apresentam valores nutricionais muito próximos aos do trigo e do milho, com composição média de 70% de carboidratos, 12% de proteína, 3% de Gordura, 2% de fibra e 1,5% de cinzas (RUSKIN et al., 1996). Os Autores mesmos encontraram, ainda, variações de 8,3% a 15,3% nos teores entre proteína de cultivares dos Estados Unidos.

A planta de sorgo granífero possui menor porte que facilita a colheita mecanizada em grandes áreas de cultivo. O sorgo granífero pode ser classificado com alto ou baixo teor de tanino. Esse elemento afeta negativamente o desempenho de Aves e Suínos. Com vistas a atender ao Mercado de grãos, como empresas de Sementes desenvolveram Híbridos com Baixo Teor de tanino nos Grãos.

É importante enfatizar que o Mercado interno de Grãos de sorgo, representado na sua totalidade pelas Indústrias de rações, demanda grãos sem tanino. Entretanto, a comercialização de sementes de sorgo com tanino, no Brasil não é restrita, sendo somente 4% do sorgo granífero fazem esse tipo com tanino (TSUNECHIRO et al., 2002).

O Rendimento dos Grãos de sorgo pode ultrapassar os 7 t.ha⁻¹ e 10 t.ha⁻¹ respectivamente, em condições favoráveis de verão e em plantios de Sucessão.

Coelho e Silva (1981) avaliaram a produtividade do sorgo granífero em localidades do Estado de Minas Gerais, durante dois anos agrícolas, com uma produtividade média dos ensaios de 4,435 kg ha⁻¹, os maiores rendimentos tem sido observados nos municípios de Patos de Minas, Cachoeira Dourada, Janaúba e Jaíba, com valores superiores a 6,000 kg ha⁻¹. Concluíram os autores que, na região Norte de Minas, a cultura possui condições melhores do que o milho cultivado em áreas sem possibilidade de irrigação. Sendo assim, o sorgo granífero, devido à sua maior resistência à seca, ser o mais indicado para essas condições.

Na avaliação de cultivares de sorgo na região semiárida de Mossoró, RN, foram verificados rendimentos de grãos variando de 8,885 kg ha⁻¹, para o híbrido DK 865 a 7,278 kg ha⁻¹, para o XPM 5287 (MARIGUELE & SILVA, 2002).

Em experimento, foram avaliadas 25 cultivares de sorgo graníferos, no Rio Grande do Norte, não foi verificada nenhuma diferença para as características como altura de planta, produtividade da panícula e produtividade de grãos. Entretanto, quatro cultivares experimentais se destacaram com produtividade de grãos $5,00 \text{ t ha}^{-1}$ até $6,77 \text{ t ha}^{-1}$ (LIMA et al., 2008).

O arranjo ideal de plantas em determinado espaçamento entre fileiras e pela quantidade de plantas nas linhas capazes de explorar de maneira mais eficiente os recursos naturais e insumos fornecidos pelos agricultores. O sorgo é uma das espécies de importância agrícola que apresentam grande potencial de utilização da radiação solar por meio da fotossíntese com conversão de carbono em carbono orgânico mineral na forma de grãos e de forragens. Em condições não estressantes, a fotossíntese é afetada pela quantidade de luz fotossinteticamente ativa, proporção desta luz interceptada pela estrutura do dossel e pela distribuição ao longo do dossel (MAGALHÃES & DURÃES, 2003).

Como determinações da melhor densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para situações diversas de manejo da cultura, são primordiais para otimizar a produtividade (BERENGUER & FACI, 2001; MARTELO & BROAD, 2003).

No Texas, EUA, STLCHLER et al. (1997) observaram, em área irrigada, incrementos da produtividade de grãos de sorgo com um redução do espaçamento entre fileiras de 90 centímetros para 70 centímetros e diminuição nenhuma rendimento com populações maiores que 15 plantas por metro. Em condições de sequeiro, Jones & Johnson (1997) demonstraram que melhores dados de plantio, população de plantas, variedade e espaçamento entre fileiras de sorgo granífero são interdependentes. Neste trabalho, com cultivares tardias apresentaram redução na produtividade, semeadas com altas populações.

Ao avaliar o arranjo de plantas de sorgo granífero em condição de sequeiro e duas lâminas de irrigação ($2,5 \text{ mm d}^{-1}$ e $5,0 \text{ mm d}^{-1}$), BAUMHARDT & HOWELL (2006) constataram uma população de plantas que não influenciou na produtividade de grãos em condição de sequeiro e que submetida até $2,5 \text{ mm d}^{-1}$ de água, Já com menores espaçamentos aumentaram em 7% a produtividade de grãos, considerando como três condições de regime hídrico.

A pesquisa realizada por STEINER (1986), com espaçamentos menores entre fileiras com cultivo do sorgo proporcionaram maiores produtividade de grãos. Estudos avaliando o perfilhamento de cultivares de sorgo semeado em diferentes arranjos de plantas foram relatados interações entre os menores espaçamentos e maiores densidades proporcionaram menores números de perfilho (JONES & JOHNSON, 1997; BAUMHARDT & HOWELL, 2006).

O perfilamento de cultivares de sorgo é uma característica afetada pela época de semeadura, espaçamento, densidade e ciclo da cultura (BAUMHARDT & HOWELL, 2006).

Meira et ali. (1977) estudaram o arranjo de plantas de sorgo granífero nos municípios de Patos de Minas, Prudente de Moraes, Felixlândia e Jaíba e concluíram que houve efeito do espaçamento e da densidade apenas nas duas primeiras localidades. Nas Regiões com maior precipitação, verificaram maior tendência nos menores espaçamentos e maiores densidades. Altas densidades de semeadura não apresentam vantagens na produção da cultura do sorgo (LOPES et ai., 2005).

Avaliando diferentes densidades de plantio na cultura do sorgo, LOPES et ali. (2005) verificaram competição intraespecífica entre os tratamentos, com produtividade de grãos por planta sendo superiores na menor densidade de semeadura (100 mil plantas ha⁻¹), à maior densidade de 220 mil plantas ha⁻¹. E, ao avaliar os espaçamentos de 50 e 80 centímetros, foi constatada maior produtividade no menor espaçamento.

Diante do exposto, o melhor arranjo de plantas para o sorgo varia em função de diversos fatores dos quais podemos citar como condições ambientais locais de cultivo e cultivar com espaçamento e densidade de semeadura ideal específica para cada região, para melhor desempenho dos genótipos.

2.7 PODER CALORÍFICO E BRIQUETAGEM

Atualmente o Brasil passa por grande demanda energética e, apesar das hidrelétricas ainda serem a principal forma de geração de energia, muitas usinas termoelétricas estão sendo instaladas em todo o País para atender demandas energéticas crescentes. Uma das consequências disso é uma nova demanda por biomassa vegetal, junto com o interesse de grandes usinas sucroalcooleiras para a cogeração de energia elétrica em caldeiras de alta pressão pela queima direta de biomassa. Entretanto, esse processo ainda é lento e oneroso, seja pela base fundamental desse negócio, que está alicerçada no cultivo e na produção de biomassa do eucalipto, seja pela biomassa proveniente de capins, que proporcionam investimentos insatisfatórios e baixo poder calorífico (DAMASCENO et al., 2013; RESENDE et al., 2013). Nesse contexto, o cultivo do sorgo para biomassa surge como tecnologia potencialmente muito mais promissora que os capins e o eucalipto, pois a espécie pode atingir produtividade de 150 t ha⁻¹ de massa fresca, em ciclo de apenas cinco meses, com cultivo totalmente mecanizável (RESENDE et al., 2013).

O sorgo biomassa pode ser considerado ideal como matéria-prima energética devido sua versatilidade como fonte de amido, açúcar e lignocelulose (CARRILLO et al., 2014; CASTRO et al., 2014). A boa produção de energia a partir de toda a planta se dá porque o sorgo é uma das plantas mais fotossinteticamente eficientes do mundo, além de possuir um alto potencial de rendimento, facilidade de cultivo, ampla adaptabilidade e reprodução por sementes (MILLER; MCBEE, 1993; CASTRO et al., 2014). Segundo a EMBRAPA (2016b), o poder calorífico do sorgo chega a 4.000 kcal kg⁻¹ de matéria seca, sendo considerado alto para os estudos energéticos.

Quando se fala em biomassa como matéria-prima energética, logo se pensa em cana-de-açúcar. Entretanto, o sorgo biomassa possui a vantagem de atingir 50% de umidade enquanto ainda está na lavoura, diferentemente da cana, que demanda medidas para estocagem e tratamento do bagaço. Além disso, o sorgo pode ser colhido e levado diretamente à caldeira ou também ser armazenado (CASTRO et al., 2014; UNICA, 2016).

O sorgo biomassa apresenta grande quantidade de massa verde, bom perfilhamento, caules grossos e fibrosos portem bastante alto, podendo chegar a 5 m de altura. As plantas possuem panículas pequenas com baixa produção de grãos, elevado teor de fibra e baixos teores de açúcares (OIVEIRA, 2016). O sorgo biomassa é sensível ao fotoperíodo e considerado uma planta de dia curto, que floresce apenas quando os dias possuem menos de 12 horas e 20 minutos. No entanto, quando é semeado nas épocas do ano em que o fotoperíodo é maior que 12 horas e 20 minutos, seus ciclos vegetativos e porte são ampliados, possibilitando maior produção de biomassa por hectare/ciclo em comparação a cultivares insensíveis ao fotoperíodo, que florescem em qualquer época do ano e com ciclo curto (RESENDE et al., 2013).

Recentemente, a EMBRAPA juntamente com a iniciativa privada, iniciaram um programa de geração de energia visando à obtenção de híbridos exclusivos de sorgo biomassa (OLIVEIRA, 2016), como os híbridos CMSXS7002, CMSXS7004, CMSXS7011, CMSXS7015 e CMSXS7016 (RESENDE et al., 2013). Paralelo a isso, estudos comparativos também têm demonstrado as viabilidades agrônômica e energética, tanto entre híbridos de sorgo biomassa, quanto entre os tipos agrônômicos de sorgo (granífero, forrageiro, sacarino e biomassa). Castro (2014), avaliando as correlações fenotípicas entre caracteres agrônômicos e tecnológicos de 14 genótipos diferentes de sorgo biomassa, identificou híbridos que apresentaram maior potencial agrônômico e energético. Híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo apresentaram produtividade média superior a híbridos comerciais de sorgo forrageiro insensível ao fotoperíodo. O sorgo biomassa, nesse trabalho, apresentou produtividade média de matéria seca de 34 t ha⁻¹, com 62% de umidade e poder calorífico de

4.400 kcal kg⁻¹, podendo ser considerado como matéria-prima com potencial agrônômico e energético para a geração de bioenergia.

Segundo a EMBRAPA (2016a), apesar da cultivar BRS 506 ter sido desenvolvida para atender a demanda por matéria-prima alternativa complementar à cana-de-açúcar para a produção de etanol, é também bastante eficiente na cogeração de energia, com poder calorífico superior ao bagaço de cana. Já a cultivar BRS Ponta Negra foi desenvolvida pela EMBRAPA para a produção de forragem, a partir da seleção em gerações segregantes de cruzamentos, visando tolerância à toxicidade de Al e a seca (SANTOS et al., 2007).

Entretanto, apesar dessas duas cultivares não terem sido desenvolvidas, originalmente, como sorgo biomassa e para a cogeração de energia, isso não significa que não possam ser avaliadas para esse fim. NÓBILE e NUNES (2014), analisando a cogeração de energia a partir da biomassa do sorgo sacarino na entressafra de cana-de-açúcar, concluíram que o sorgo sacarino pode ser uma boa opção na produção de energia, com poder calorífico de, aproximadamente, 3.583 kcal kg⁻¹.

A trituração da biomassa e sua posterior compactação caracteriza o que é chamado de briquetes. Briquetes são, portanto, materiais provenientes de subprodutos de beneficiamentos agroflorestais, agroindustriais e finos de carvão, através dos quais pequenas partículas desses materiais (biomassa) são prensadas para formar blocos de forma definida e de menor tamanho (ANTUNES, 1982), e seus principais parâmetros são resistência mecânica, resistência ao impacto, baixa higroscopicidade, alta densidade, boas propriedades de queima e alto poder calorífico (BASQUEROTTO, 2010).

Os briquetes podem ser obtidos a partir de um único material ou da mistura entre materiais lignocelulósicos, como a casca e galhos de árvores, aparas de madeira, serragem, maravalha, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, palha de milho (QUIRINO, 2003), entre outros. Além disso, podem substituir a lenha em sua totalidade, tornando-se um produto viável, ambiental e economicamente (PAULA, 2010).

Os briquetes possuem poder calorífico elevado devido ao aumento de material em um mesmo espaço volumétrico (PAULA, 2010). Em 1 m³ de briquetes existem, pelo menos, quatro vezes mais energia que 1m³ de resíduos em sua forma original, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio do material considerado (QUIRINO; BRITO 1991).

Quando comparado à lenha, os briquetes possuem maior densidade energética; maior rapidez na geração de temperatura e calor; proporciona redução nos custos do transporte, manuseio, infraestrutura de armazenamento, movimentação, mão-de-obra e encargos sociais;

possuem maior apelo ambiental por ser produzido a partir dos resíduos (VALE; GENTIL, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DA PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi conduzido na área comunitária do Projeto de Assentamento de Reforma Agrária Milagres, município de Apodi, RN (Latitude 5°35'19.3" S, Longitude 37°54'7.9" O e 153,00 m). A escolha pelo Assentamento deve-se a estrutura existente de saneamento e reutilização das águas residuárias da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que anteriormente foram desenvolvidas pesquisas envolvendo diferentes cultivos agrícolas pela Universidade Federal Rura do Semiárido - UFERSA. Nos últimos 15 anos o solo das áreas comunitárias do assentamento Milagres foi explorado com a produção intensiva do algodoeiro e as criações de bovinos e caprinos. O solo da área experimental foi classificado com Cambissolo Háplico Ta eutrófico (EMBRAPA, 2013).

3.2. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) foi cultivado em campo aberto em delineamento experimental de blocos casualizados, com modelo em parcelas subdivididas, sendo três fontes hídricas referentes às parcelas (A_1 = água de poço - controle, A_2 = água de esgoto doméstico tratado e A_3 = mistura de 50% água de poço e 50% de esgoto doméstico tratado) e 3 cultivares de sorgo referente às subparcelas (C_1 = IPA 2502, C_2 = BRS 506 e C_3 = BRS Ponta Negra), com seis repetições, totalizando 54 medidas experimentais (Figuras 2A e B).

Figura 2 – Detalhe de uma parcela experimental com vista do detalhe da irrigação nos sulcos de plantio (A) e do cultivo do sorgo em espaçamento duplo (B). Fonte: Dados de acervo de pesquisa.



Cada parcela experimental foi constituída de 2 linhas de plantio duplas com dimensões de 20,40 m de comprimento cada uma, sendo 12 sulcos de 2,80 m por linha de plantio e um sulco de 1,80 m em cada extremidade, constituindo as bordaduras. Todos os sulcos de plantio continham na sua lateral duas linhas de sorgo espaçados de 0,30 e 0,15 m entre plantas na linha de semeadura.

3.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.3.1 Preparo do solo

A área foi preparada com uma gradagem no qual foi necessário aplicar uma lâmina de 20 mm de água na área com auxílio de carro pipa para deixar o solo com cerca de 128 Mc variando de 0 – 0,20 m, considerando uma umidade residual de 2%, de forma a facilitar o preparo do solo. Em seguida se fez os sulcos com um sulcador e o acabamento foram feitos manualmente com auxílio de enxada. Foram realizadas amostragens de solo na área experimental com estrutura deformada em diversos pontos da área, para uma caracterização inicial dos atributos físicos e químicos do solo da área em estudo, na camada de 0-0,20 m, os quais seguiram as mesmas profundidades em momento diferentes de amostragens para caracterização final do experimento. A área apresenta um histórico de cultivos de sequeiro com culturas anuais de milho e feijão.

Na Tabela 3 estão apresentadas algumas características químicas do solo antes da aplicação dos tratamentos, apresentando baixos teores de fósforo e nível alto de potássio, em função dos resultados obtidos da caracterização inicial não foi realizada adubação química.

Tabela 3 – Características químicas, na profundidade de 0 a 20 cm utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária de origem doméstica, Chapada do Apodi, RN, 2014.

Profundidade	pH	MO g.Kg ⁻¹	P	K ⁺	Na ⁺	N	B	Cu	Zn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ²⁺	SB	CTC	M
			mgdm ⁻³cmol.dm ⁻³				%
0 a 0,20	6,7	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0

3.3.2 Sistema de Irrigação de baixa pressão

Adotou-se o sistema de irrigação sulco, utilizando-se de tubos de plástico reciclável (polietileno) com diâmetro de 20 mm (3/4"), enterrados a 10 cm de profundidade, e emissores

de microtubos. O sistema trabalhou com baixa pressão cerca de 2 mca, não exigindo sistema de bombeamento.

A água foi conduzida da fonte até as plantas de sorgo, por meio de tubos, eliminando as perdas por condução e minimizando as perdas por percolação, uma vez que se aplica a água em um sulco. Não existia dispositivo na ponta dos microtubos para dissipar a pressão. A opção pelo sistema de irrigação localizada de baixa pressão “bubbler” modificado foi pelo o fato de apresentar boa eficiência e excelente uniformidade, além de evitar entupimento pelo o uso de águas residuárias e ideal para pequenos projetos de irrigação de pequeno porte e oferece baixa pressão.

O sistema irrigação foi composto por motobomba de 1,5 CV que conduziam a irrigação até a unidade experimental. O sistema de irrigação proposto é do tipo localizado, com emissores constituídos de tubos de polietileno de diâmetro reduzido (4 mm de diâmetro interno), com vazão de $83,85 \text{ L h}^{-1}$, a água aplicada caía nos sulcos de 2,80 m, construído com declividade máxima de 0,5% e com dimensões que durante um evento de irrigação o volume de água aplicado (V_{ap}) era inferior ao volume infiltrado (I_{ac}) e armazenado na superfície dentro do sulco (V_{sup}).

O sistema de irrigação proposto é do tipo localizado, com emissores constituídos de tubos de polietileno de diâmetro reduzido (3 a 5 mm de diâmetro interno), que devem fornecer uma vazão entre 30 e 120 L h^{-1} , para o comprimento entre 0,50 e 3,00 m e submetido a uma carga hidráulica entre 1,0 e 2,0 m (MEDEIROS et al.; 2014). A água aplicada deve cair num sulco de 2,0 a 4,0 m, construído com declividade máxima de 0,5% e com dimensões que durante um evento de irrigação o volume de água aplicado (V_{ap}) seja inferior ao volume infiltrado (I_{ac}) e armazenado na superfície dentro do sulco (V_{sup}) (equação 1), conforme.

$$V_{ap} \leq I_{ac} + V_{sup} \quad (1)$$

Em que.

$$V_{ap} = q \cdot T_{irr} \quad (2)$$

Sendo q a vazão do emissor e T_{irr} o tempo total de irrigação.

Os critérios para definir a vazão do emissor e o comprimento do sulco, incluindo a área do seu perfil, que são interdependentes, são os seguintes:

O tempo de avanço da água no interior sulco deve ser igual ou inferior a $\frac{1}{4}$ do tempo de irrigação;

A seção do sulco deve ser suficiente para acumular o total de água de irrigação durante a sua aplicação que excede o volume infiltrado durante a aplicação da água.

Assume-se que o avanço da água no sulco (comprimento da zona saturada na superfície do solo - L) é dado em função da vazão do emissor (q) e tempo de aplicação de água (Ta) pela equação (3).

$$L = a \cdot q^b \cdot T a^c \quad (3)$$

Em que a, b e c são parâmetros empíricos obtidos por análise de regressão múltipla de medidas obtidas em teste de campo realizado com um sistema que simula pelo menos quatro vazões (entre 30 a 60 ou entre 60 a 120 L h⁻¹, dependendo se o solo é de baixa ou de alta capacidade de infiltração) e se determina a distância de avanço em pelo menos 6 tempo diferentes de aplicação (0,5, 1,5, 3,5, 7,5, 15,5, 31,5 min).

Considerando que o tempo de irrigação (Tirr, em min) pode se definido pela lâmina de irrigação a ser aplicada (h, em mm), o comprimento do sulco (E1, em m) e espaçamento entre eles (E2, em m) e a vazão do emissor (q, em L h⁻¹), dado pela equação 4.

$$T_{irr} = \frac{h \cdot E1 \cdot E2 \cdot 60}{q} \quad (4)$$

Assim, a vazão do emissor (q) pode ser determinada pela equação 5.

$$q = \left(\frac{4^c}{60 \cdot a \cdot h \cdot E2} \right)^{\frac{1}{b-1}} \cdot (T_{irr})^{\frac{1-c}{b-1}} \quad (5)$$

Combinando as equações (4) e (5), pode-se obter o tempo de irrigação independente da vazão do emissor pela equação 6 e em seguida obter a vazão rearranjando a equação 4.

$$T_{irr} = \left(\frac{a \cdot (60 \cdot h \cdot E2)^b \cdot E1^{b-1}}{4^c} \right)^{\frac{1}{b-c}} \quad (6)$$

Nesse caso, têm-se os parâmetros da equação de avanço (a, b e c), a lâmina de irrigação que se deseja aplicar (h) e o espaçamento entre os sulcos (E2), e assume-se o comprimento do sulco que se deseja irrigar com cada emissor, obtendo-se assim o tempo de irrigação com a

equação 6 e em seguida determina-se a vazão do emissor com a equação 4, que deve ficar dentro da faixa considerada aceitável. Assim existe uma combinação de valores de comprimento e vazão dos emissores que podem satisfazer aos critérios de dimensionamento.

A vazão do emissor (microtubo de polietileno 4/7 mm) foi determinada em pedaços de tubo de 0,5 a 3,0 m de comprimento com conector de 4 mm na extremidade que conecta a linha de polietileno que compõem a lateral, submetida a carga hidráulica entre 0,5 e 2,0 m.

As linhas laterais foram dimensionadas para que as perdas de carga total fossem inferiores a 15% da pressão de serviço. As perdas de carga por atrito foi estimada pela equação de Blasius (RODRIGO LOPEZ et al., 1997). As perdas de carga por diferença de nível pode ser compensada pela altura que se deixa a extremidade do microtubo. As linhas de distribuição foram selecionadas para que as perdas de carga total fosse mínima, nunca superior a 10% da pressão de serviço.

Utilizando os critérios descritos acima, o sistema de irrigação foi dimensionado para uma pressão de serviço de 2,0, que para um sulco de 2,80 m de comprimento, na qual a vazão foi calculada em $83,85 \text{ L.h}^{-1}$ para um tempo de irrigação mínimo de 25,6 minutos, que foi aproxima uma lâmina mínima de 8 mm, para os sulcos de 2,8 m e espaçado de 1,6 m. A água foi bombeada desde a fonte de água, conduzida em tubo de PVC de 50mm até a linha de distribuição de 50 mm, de onde saiam as laterais 20 mm (3/4") com comprimento de 20 m contendo em cada mangueira 8 emissores.

3.3.3 Semeadura do sorgo e seus tratos culturais

O experimento foi realizado na safra 2014/2015, em campo, sendo a semeadura realizada no dia 04/12/2014 e foram realizados avaliações até 20/03/2015, totalizando 106 dias.

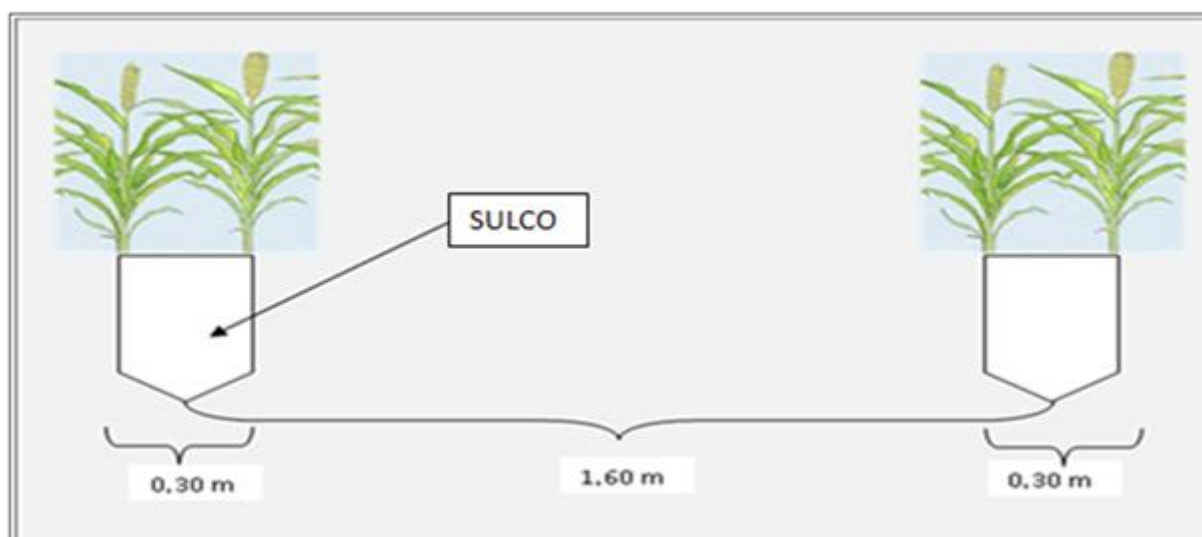
As cultivares de sorgo foram fornecidas pela EMBRAPA e IPA, a escolha dessas cultivares se deu devido à possibilidade de se avaliar a produção de caldo e produção de forragem, na perspectiva de despertar o cultivo de sorgo com uso de águas residuárias no semiárido Tabela 4.

Tabela 4 – Informações técnicas das cultivares de sorgo utilizado na pesquisa implantadas no Assentamento Milagres – Apodi RN. Fonte (EMBRAPA e IPA, 2014).

INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS CULTIVARES DE SORGO		
<u>IPA 2502</u>	<u>BRS 506</u>	<u>PONTA NEGRA</u>
Altura média de planta 180 cm a 200 cm	Florescimento 70 a 75 dias	Florescimento 60 a 75 dias
Florescimento com 65 dias	Altura de plantas 280 cm	Altura de plantas 200 a 250 cm
Colheita para grão de 90 a 110 dias	Altura de pedúnculo 7 cm	Tipo de panícula semiaberta
Colheita para ensilagem com 80 dias	Tipo de panícula aberta	Cor do grão marrom clara
Biomassa total (M.V.) de 20 a 30 t/ha	Cor do grão Cinza	Resistente a acamamento
Brix do colmo (sacarose) 15 a 20%	Tipo do colmo suculento	Rend. massa verde de 40 a 60 t/ha
Capacidade de rebrota elevada	Resistente a acamamento	Rend. de massa seca de 12 a 15 t/ha
Colmo suculento/sacarino	Rend de colmo (TCH) 40 a 60 t/ha	Red de grão sequeiro 3 a 4 t/ha
Resistência elevada ao tombamento	Red de massa seca 15 a 20 t/ha	Red de grãos irrigado 6 a 8 t/ha
Produção de grãos secos de 3 a 5 t/há	Brix do caldo (graus) 20,9	Presença de tanino no grão

Adotou-se o espaçamento em fileira dupla de 1,30 m e entre linhas de 0,30 m, com irrigação em sulco espaçado a 1,60 m considerando a partir do centro Figura 3. O sistema adotado foi o de semeadura direta de forma manual, em covas espaçadas de 0,15 m na linha, usando um marcador com o espaçamento planejado, colocando três a quatro sementes por covas aproximadamente 5 cm de profundidade. As 20 dias após semeadura foi realizado desbaste com a finalidade de ajustar a população de plantas, deixando apenas uma por cova, com densidade de 167 mil plantas ha⁻¹.

Figura 3 – Vista do detalhe do espaçamento do sorgo e sulcos. Fonte: Dados de acervo de pesquisa.



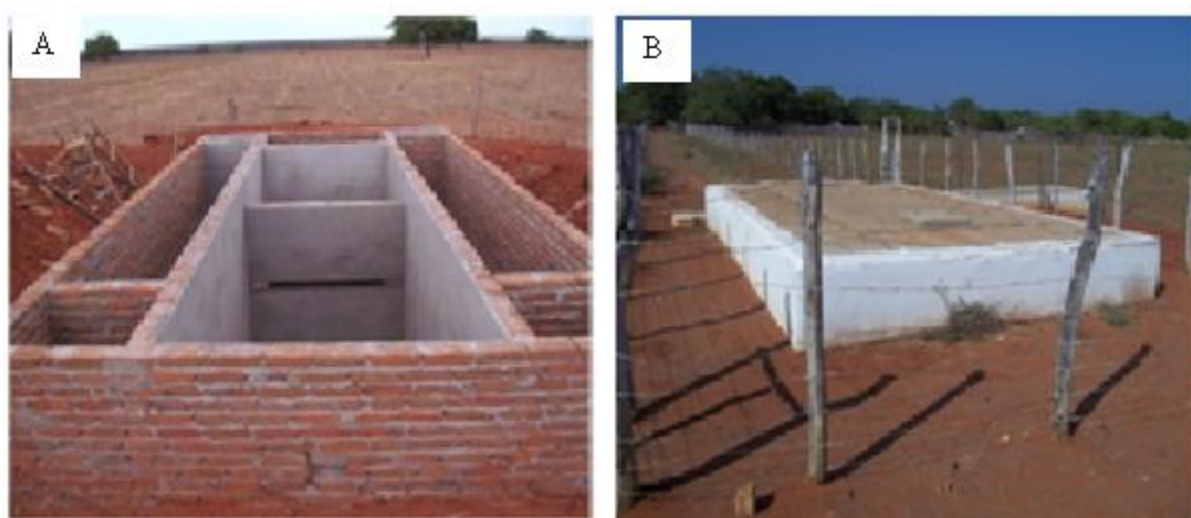
3.3.4 Caracterização da estação de tratamento ET

O assentamento possui 107 habitantes que ocupam 28 residências, produzindo diariamente um volume de 16 m^3 de água residuária doméstica. Ressalta-se que o assentamento dispõe de rede coletora de água residuária doméstica para todas as residências, tendo o ramal domiciliar com diâmetro nominal de 100 mm e as tubulações primária e secundária com diâmetro nominal de 150 mm. Para o tratamento primário da água residuária doméstica canalizada foi instalado um decanto-digestor tanque séptico mais dois filtros anaeróbios do tipo decanto digestor Figura 4. A água residuária do tratamento usada na pesquisa foi proveniente da estação de tratamento filtros anaeróbios de fluxo descendente, uma cisterna para armazenamento do esgoto tratado, com capacidade para 10 m^3 . A geração diária de esgoto bruto é tratado e disponibilizado como água e nutrientes para o cultivo agrícola do sorgo

O dimensionamento do tanque séptico e dos filtros biológicos foi realizado, conforme recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993). O sistema é constituído das seguintes partes:

- Tanque séptico, responsável por proporcionar a remoção de sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário; composto por duas câmaras, com dimensões de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento e 1,30 m de profundidade útil; tempo de detenção hidráulica de 12 horas, e frequência para remoção do lodo a cada ano. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a $2/3$ do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra, foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura.
- Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de $16,0 \text{ m}^3$. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro foi de duas horas.

Figura 4 – Vista frontal do decanto-digestor destacando internamente (A) e, externamente (B) o tanque séptico e os dois filtros biológicos. Fonte: Lemos (2011).



Para caracterização do esgoto doméstico primário e da água do poço artesiano foram coletadas amostras, as quais foram posteriormente conservadas em caixa isotérmica com gelo à temperatura de 4°C. Em seguida as amostras foram encaminhadas aos Laboratórios de Análise de Solo, Água e Planta e de Inspeção de Produtos de Origem Animal, ambos da UFERSA e o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da UERN para obtenção das características físico-química e microbiológicas, conforme apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Características físico-químicas e biológicas das águas utilizadas, água residuária (AR) e água de abastecimento potável (AA). Chapada do Apodi, RN, 2012.

Características	AR	AA
pH.....	7,34	6,96
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹).....	1,10	0,09
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	9,8x103	0
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹).....	80	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)..	27	-
Sólidos totais (mg L ⁻¹).....	655	-
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹).....	44,0	-
Fósforo total (mg L ⁻¹).....	7,8	-
Nitrogênio total (mg L ⁻¹).....	54,1	-
Potássio (mg L ⁻¹).....	23,7	11,5
Ferro total (mg L ⁻¹).....	0,48	0,26
Manganês total (mg L ⁻¹).....	0,13	0,05

Zinco (mg L ⁻¹).....	0,08	0,2
Cobre (mg L ⁻¹).....	0,04	0,03
Sódio (mmolc L ⁻¹).....	7,03	0,46
Cálcio (mmolc L ⁻¹).....	1,21	0,17
Magnésio (mmolc L ⁻¹).....	0,76	0,28
Cloreto (mmolc L ⁻¹).....	2,30	0,88

Conforme Tabela 6, sobre o levantamento dos dados de precipitação pluvial durante o período de condução do experimento, mostram baixos índices caracterizando assim "ano seco".

Tabela 6 – Levantamentos da precipitação pluvial durante o período de condução do experimento. Fonte (Lira, 2015).

MÊS/DIA/ANO	ÍNDICE PLUVIAL
Dezembro de 2014	0
Janeiro de 2015	0
Fevereiro dia 16 de 2015	9 mm
Fevereiro dia 18 de 2015	52 mm
Fevereiro dia 19 de 2015	70 mm
Fevereiro dia 20 de 2015	32 mm
Fevereiro dia 23 de 2015	11 mm
Março dia 02 de 2015	5 mm
Março dia 08 de 2015	20 mm
Março dia 09 de 2015	11 mm

3.3.5 Colheitas e características avaliadas

A colheita foi realizada aos 98 dias para as cultivares IPA 2502 e BRS 506 e aos 106 DAP para a cultivar BRS Ponta Negra. As plantas foram cortadas na altura de 10 a 15 cm do solo, com os grãos do centro das panículas no estágio pastoso a farináceo. Foram colhidas 2 m lineares das fileiras duplas de uma de cada dupla, de cada parcela experimental, totalizado 54 amostras, no qual foram amarradas em feixe e identificadas para posteriores avaliações biométricas.

Cada feixe foi pesado e, em seguida, fez-se a desfolhas e o corte dos cachos, sendo tirado cada parte das planta individualmente. Na etapa seguinte, separaram-se duas plantas, as quais foram pesadas folhas, colmo e cachos e, além disso, foi colocado em sacos, identificados, e

conduzido ao Laboratório da Universidade Federal Rural do Semiárido uma subamostra dos tratamentos para determinação da matéria seca em estufa de aeração forçada, à temperatura de 65 °C, por 72 horas, até atingirem peso constante para se estabelecer a proporção com base na MS.

Também foram utilizadas para caracterização morfométrica, submostras das plantas em campo para mensurar a produtividade das cultivares e produção de biomassa (álcool e briquetes). Retiradas amostras de colmo, para determinação da percentagem de açúcares redutores totais do colmo (ART), a partir dos quais foi estimada a produção de álcool por tonelada de colmo e por hectare utilizando-se as fórmulas empregadas por (SERRA et al. 1978).

Figura 5 – Detalhe das atividades de campo: colheita, desfolhas, cortes dos cachos e pesagens. Fonte: Dados de acervo de pesquisa.



Também subamostras de plantas foram coletadas aleatoriamente para determinação e extração do caldo do sorgo para avaliação do °Brix. Da mesma forma, houve a desfolha, separação de panícula e pesagem separadamente. Em seguida, passou os colmos em uma moenda para extração do caldo, obtendo a massa do caldo e avaliação do °Brix da amostra foram pesados também, o bagaço do colmo para obtenção de massa seca em estufa a 65° C (Figura 6).

Figura 6 – Detalhe das atividades de extração do caldo, pesagem e grau brix. Fonte: Dados de acervo de pesquisa.



➤ **Altura de planta (cm)**

A altura de plantas foi determinada, medindo-se a altura do nível do solo até a panícula e do nível do solo até a inserção da folha bandeira, em cinco plantas representativas por parcela, após a maturação fisiológica do grão.

➤ **Diâmetro do colmo (mm) e número de folhas por plantas**

O diâmetro de colmo medido a 10 cm do solo e no terço médio do colmo, em 5 plantas escolhidas aleatoriamente na parcela; número de perfilho planta contagem do número de perfilho na área útil de 2 m e posterior conversão.

➤ **Área foliar (cm²)**

A área foi estimada através do produto entre o comprimento, a maior largura e um fator de ajuste. O fator de ajuste, ou fator de forma, varia com a cultura, situando-se ao redor de 0,7. Esse método, utilizado por Montgomery (1911), em milho, com fator igual a 0,75, pode ser considerado como padrão para esta cultura (FRANCIS et al., 1969; PEARCE et al., 1975; MACHADO et al., 1982). Para a cultura do sorgo o fator utilizado nos cálculos foi de 0,747 (STICKLER et al, 1961). As medidas de comprimento e maior largura da folha foram realizadas

logo após ao florescimento e com as plantas em campo, dentro da área de útil de 2 m em 5 plantas escolhidas aleatoriamente, com a utilização de uma régua graduada.

Deste modo, estimou-se a área foliar das plantas conforme a equação:

$$AF = 0,747CL$$

Em que:

AF = área da folha (cm²);

C = comprimento da folha (cm);

L = maior largura da folha (cm);

0,747 = coeficiente estabelecido para a cultura;

$$AP = \sum_{i=1}^n AF_i$$

Em que:

AP = área das folhas da planta (cm²);

AF = área da folha (cm²).

O número de folhas (n) foi obtido pela contagem de todas as plantas que foram medidas em 2 m lineares, no ato das medições de diâmetro e alturas durante o experimento.

Produtividade de grão (t h⁻¹).

Os dados referentes à produtividade de grãos das parcelas, após a debulha foram corrigidos para a umidade de 13% e transformados para t.ha⁻¹ utilizando-se as seguintes expressões:

➤ **Produtividade de panículas (t.h⁻¹)**

Os dados de produtividade de panículas foram obtidos por meio da pesagem das panículas colhidas na área útil da parcela e da posterior transformação para t.ha⁻¹.

➤ **Produtividade de matéria seca (t.ha⁻¹)**

Após a obtenção da massa verde de todas as plantas da área útil (em 2m) nas parcelas, foram tiradas as subamostras dos tratamentos selecionadas ao acaso das amostras total, e cortada em pedaços de 10 cm, em seguida feita a pesagem para secagem em estufa de aeração forçada, à temperatura de 65 C, por 72 horas, para a determinação da porcentagem de matéria seca das folhas e colmos. A produtividade de matéria seca foi estimada por meio do peso verde das parcelas multiplicado pela porcentagem de matéria seca. O peso foi transformado em t.ha⁻¹, conforme descrição a baixo.

$$\text{▪ } \%M.S = [\text{peso da amostra seca (g)} / \text{peso da amostra verde (g)}] \times 100.$$

O valor obtido multiplicado pela produção de matéria verde gerou a variável produção de massa seca, isto é,

$$\text{▪ } \text{Produção da massa seca (t ha}^{-1}\text{)} \times \%M.S / 100 \times \text{fator de correção 2,5.}$$

➤ **Porcentagem de colmo, folha seca (%)**

A partir das subamostras totais da área útil de 2 m nas parcelas e determinou-se matéria seca total das plantas, e seus resultados obtidos em porcentagem.

➤ **Massa de caldo e SST (°Brix)**

Para a obtenção do caldo para as análises, os colmos do sorgo de cada cultivar, sem folha e sem panícula, foram submetidos a um processo de extração utilizando um sistema de moenda simples que remove o caldo por pressão, como pode se visualizado na Figura 6. Os colmos do sorgo foram submetidos ao processo de pressão (passados pela moenda) por duas vezes consecutivas, não sendo possível uma outra extração devido degradação das fibras após a segunda extração, como pode ser visualizado. Posterior conversão em kg ha⁻¹ e °Brix (determinado por refratômetro digital de leitura automática, mensurando o teor de sólidos solúveis totais)

➤ **Coleta de solo no final do experimento**

No Argissolo da área experimental foram coletadas amostras compostas com auxílio de trado tipo holandês, 0 a 20 cm, após o corte de todas as plantas. As coletas se deu ao lado do suco, representando as áreas irrigadas com as três águas, bem como representando nas amostras de solos os ambientes explorados pelas três cultivares de sorgos para caracterização dos valores de pH, condutividade elétrica, matéria orgânica, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro e manganês seguindo as recomendações da Embrapa (EMBRAPA, 2009). Para cada coleta foi obtida uma amostra composta resultante da mistura das quatro amostras simples. Em seguida, encaminharam-se as amostras compostas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

➤ **Processo industrial do briquete**

O sorgo cortado da área útil referente a cada experimento foi picado em forrageira com folhas e colmos e pesado, depois colocado em estufa a temperatura de 60°C até se obter massa constante, depois passou por moagem para deixar tamanho entre 5-10mm, tamanho ideal para briquetagem. Em seguida foram feitas três sub amostras do material total, sendo: Amostra 1 (somente bagaço moído de sorgo); Amostra 2 (bagaço de sorgo + 10% de cinza) Amostra 3 (bagaço de sorgo + 20% de serragem) e Amostra 4 (bagaço de sorgo + serragem + cinza 20%). Em seguida as amostras com suas repetições foi levado a fábrica de briquetes do Instituto Federal - IFRN, localizada no município de Ipanguaçu–RN, para ser processado.

➤ **Determinação do poder calorífico do briquete**

Foi tomado amostras dos briquetes com as diferentes composições, para diferentes cultivares de sorgo (BRS 506, IPA e Ponta Negra) obtendo-se os valores médios por medida de massa seca das amostras. O poder calorífico superior do briquete foi realizado no Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Rio Grande do Norte, com utilização de bomba calorimétrica modelo PARR. O procedimento experimental seguiu a metodologia de BUENO e DEGRÉVE (1980), expresso em Kcal.kg⁻¹.

➤ **Porcentagem de açúcares redutores totais para determinação de (Produção de etanol L.ha⁻¹)**

A amostragem de sorgo (12 colmos coletados por parcela) foi realizada uma semana antes da colheita. No qual foram levadas a Usina de cana-de-açúcar na Capital de João Pessoa para análises de:

-°Brix - indica a quantidade de sólidos solúveis presentes na amostra, em peso. Pureza - relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contida em uma solução açucarada.

Fibra - porcentagem em massa de matéria seca insolúvel presente na biomassa. AR (Açúcares Redutores) - determinam a quantidade de açúcar invertido, compreendendo glicose, frutose e demais substâncias redutoras presentes na amostra.

ART (Açúcares Redutores Totais) - determinam a quantidade de açúcares redutores totais presentes na amostra, obtida pela hidrólise total da sacarose.

3.3.6 Análise e interpretação dos resultados obtidos

Os dados obtidos foram submetidos inicialmente a análise de variância individual. Previamente foram realizados os testes de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Não havendo nenhuma restrição às pressuposições da análise de variância conjunta envolvendo as três cultivares estudadas.

Todas as análises foram realizadas estudos de média utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CRESCIMENTO DO SORGO

Houve efeito significativo do fator água para as variáveis de crescimento altura de plantas da base até a terceira folha (ALF+1), altura de plantas da base até o cacho (ALT.C), diâmetro da base do colmo (DBC) e diâmetro do meio do colmo (DMC). Com relação ao fator cultivares houve efeito apenas para as variáveis ALF+1 e ALT.C. Não se observou efeito significativo na interação água x cultivares para todas as variáveis de crescimento (Tabela 1A, do Apêndice).

Observa-se que uso da água de irrigação com efluente doméstico e a mistura desta com água de poço resultou em maior crescimento de planta no que se refere às variáveis ALF+1, ALT.C, DBC e DMC em todas as cultivares de sorgo estudada (Tabela 7). Este resultado ocorreu, provavelmente, devido a grande quantidade de nutrientes presentes no efluente doméstico em relação à água de poço, principalmente nitrogênio. Essa realidade também é observada nos cultivos de sequeiros utilizados pelos agricultores da Chapada do Apodi no cultivo de sorgo com e sem adubação com esterco bovino/caprino, em que as plantas adubadas com esterco desenvolvem-se mais pelo aporte de nitrogênio ao solo e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas.

FAGUNDES et al. (2007) estudou o efeito de doses crescente de N no crescimento de plantas de girassol ornamental e, concluíram que as maiores doses de N proporcionaram maiores altura de plantas, confirmando os resultados neste experimento, em que a água residuária utilizada para a irrigação apresenta concentração média de 30,28 mg L⁻¹ de N, enquanto na água de poço, não se registra teores de N.

Pode-se dizer que o diâmetro do colmo é afetado por fatores ambientais de tal modo que, a presença de nitrogênio e de potássio específico de águas residuais melhora o crescimento, a reprodução celular e a resistência das plantas (EMAM, 1995) e, eventualmente, da haste (DIA; TUCKER, 1977).

Para sorgo granífero o ideal que a planta tenha uma altura entre 100 e 150 cm. A altura está diretamente correlacionada com produtividade, portanto híbridos melhores. No entanto, planta acima de 150 cm tende a ser mais suscetível a tombamento ou pode cair fora da trilhadeira durante a colheita (ANDRADE, 2016).

Tabela 7 – Média das variáveis de crescimento: altura de plantas até a panícula, altura de plantas até a folha bandeira, diâmetro da base e diâmetro meio do colo, para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.¹

Alturas de plantas do solo até a panícula (cm)					Altura de plantas do solo a folha bandeira (cm)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	229,4	142,2	162,6	178,1 B	210,2	115,8	141,5	155,8 B
Mistura	233,5	148,8	167,6	183,3 B	216,9	122,9	150,1	163,3 B
Esgoto	271,4	165,0	184,2	206,9 A	250,0	139,1	164,6	184,6 A
Média	244,8 a	152,0 c	171,5 b	-	225,7 a	125,9 c	152,1 b	-
Diâmetro da base (cm)					Diâmetro meio do colmo (cm)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	2,04	1,88	1,99	1,97 C	1,65	1,63	1,64	1,64 C
Mistura	2,21	2,15	2,11	2,16 B	1,77	1,80	1,81	1,79 B
Esgoto	2,36	2,23	2,24	2,28 A	1,95	1,94	2,02	1,97 A
Média	2,20 a	2,09 a	2,11 a	-	1,79 a	1,79 a	1,82 a	-

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A altura das plantas respondeu positivamente a irrigação com água 100% residuária, não havendo diferença entre as outras duas. Em relação às cultivares, as maiores médias de alturas ocorreram com a cultivar BRS 506. Na literatura, registra-se altura média para esta cultivar de até 2,80m, embora no presente estudo, tenha-se registrado altura de no máximo 2,45m da base até o ápice do cacho quando irrigado apenas com água de esgoto doméstico tratado. Em relação às alturas entre as variedades, a cultivar BRS 506 apresentou, na pesquisa, plantas mais altas quando comparada as cultivares Ponta Negra e IPA 2502, com alturas médias de 244,79, 171,47 e 152,00 cm, respectivamente.

A altura de plantas no sorgo granífero é uma característica importante na escolha da cultivar, pois materiais de porte muito elevado podem atrapalhar a colheita, essa é uma característica importante para a classificação do sorgo quanto ao uso como forrageira ou produção de grãos (ALBUQUERQUE, 2009). Segundo ZAGO (1997), híbridos mais altos apresentam maiores percentagens de colmo, o que pode comprometer o valor nutritivo do material forrageiro.

As médias do diâmetro dos colmos obtidas na base das plantas apresentaram diferenças significativas, sendo que diâmetros maiores foram verificados nos tratamentos com adição de 100% de água de esgoto. Observou-se que os diâmetros (base e médio) dos caules de sorgo foram influenciados de forma negativa pela irrigação de água de poço. O diâmetro da base do

colmo irrigado com água de esgoto proporcionou média de 2,28 cm, enquanto que aqueles irrigados com águas de poço e de mistura proporcionaram, respectivamente, 1,97 e 2,16 cm.

Houve efeito significativo de cultivares para as variáveis: área foliar - AF, número de folhas por planta - NFP, percentagem de matéria seca do colmo - %MSC e percentagem de matéria seca de folhas - %MSF. Em relação ao fator água, só não houve efeito significativo para NFP. Não houve efeito na interação água x cultivares (Tabela 2A, do Apêndice).

De igual forma, as demais variáveis de crescimento, registraram-se maiores médias de AF, NFP, MSC e MSF de plantas de sorgo nas parcelas irrigadas com 100% água residuária e a mistura desta com 50% com água de poço, diferindo estatisticamente da água de irrigação oriunda de poço (Tabela 8).

As maiores médias para as variáveis NFP, AF e matéria seca de folhas foram observadas na Ponta Negra, embora esta cultivar não tenha diferido da IPA 2502 para área foliar. Já a cultivar BRS 506 produziu maior percentual de massa de colmo e as outras duas cultivares não diferiram quanto a esta característica.

O fato da cultivar Ponta Negra ter proporcionado maior %MSF em relação às demais, que não diferiram, pode ser explicado pelo comportamento forrageiro das cultivares, devido ao porte da planta ser correlacionado positivamente com a participação de maior volume de folhas. Valores inferiores foram encontrados por PERAZZO et al. (2013), para %MSF, onde ocorreram variações de 23,25 a 33,34, havendo diferenças ($P < 0,05$) entre os genótipos avaliados.

Os resultados contrastantes entre %MSC e %MSF pode ter ocorrido em função da maior participação de panículas na MS total, devido à baixa umidade desse componente, segundo ZAGO (1991), sendo que é a panícula quem determina a finalidade do sorgo: forrageiro, duplo propósito ou granífero, caso afetada a produção de panícula pelos ataques de pássaros, principal hipótese com relação à Ponta Negra sobressair da IPA nessa pesquisa, provavelmente a concentração de tanino nos grãos não é bem aceito pelos pássaros.

O observa-se que o teor de MS da planta é importante no processo de ensilagem, uma vez que este é um dos fatores determinantes do tipo de fermentação que irá se desenvolver dentro do silo. Para produção de silagem de qualidade, sendo que o percentual de MS deve estar acima de 25%, associados a um adequado nível de carboidratos solúveis (MC DONALD, 1991). Foi o caso desta pesquisa apresentando todas as cultivares o percentual de MS a cima desses valores.

Tabela 8 – Média das variáveis de crescimento: área foliar, número de folhas por plantas, percentual de matéria seca de colmos e percentual de matéria seca de folhas, para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.¹

Ária foliar (cm ²)					Número de folhas por planta			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	3.397	3.281	3.867	3.515 B	10,6	8,3	11,8	10,3 A
Mistura	3.210	4.373	5.058	4.214 AB	11,0	9,3	12,6	11,0 A
Esgoto	4.113	4.758	4.861	4.577 A	11,5	9,5	12,4	11,1 A
Média	3.573 b	4.137 ab	4.595 a	-	11,0 b	9,0 c	12,3 a	-
Matéria seca de colmos (%)					Matéria seca de folhas (%)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	37,4	27,2	29,6	31,4 C	24,6	24,3	28,6	25,8 C
Mistura	39,1	29,8	32,9	33,9 B	26,9	26,7	30,8	28,1 B
Esgoto	41,5	34,9	34,8	37,1 A	28,2	30,5	32,6	30,4 A
Média	39,3 a	30,6 b	32,5 b	-	26,6 b	27,2 b	30,6 a	-

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

PEROZZO et al. (2013), analisando o percentual de colmo, encontraram valores maiores para as cultivares Ponta Negra e IPA 46742, com médias de 61,21 e 65,49%, respectivamente. Estes valores são superiores aos encontrados nessa pesquisa. No entanto, a Ponta Negra e a IPA seguiram o mesmo comportamento encontrado por PEROZZO et al. (2013), podendo ser explicado devido ao comportamento forrageiro das cultivares, o porte da planta ser correlacionado positivamente com a participação de colmo.

A participação do componente colmo nas plantas e uma característica importante na produção de silagem, pois é onde está localizada a maior parte dos carboidratos solúveis, que são os principais substratos para a fermentação láctica, responsável pela adequada preservação da massa ensilada (ZANINE et al., 2007).

MOTA et al. (1997) avaliaram a produção de sorgo e algodão sob o efeito da irrigação com água de esgoto tratado e concluíram que o desempenho do crescimento das plantas foram superiores em relação àquelas parcelas que foram irrigadas com água da rede de abastecimento. Corroborando com os resultados desta pesquisa, SOUSA (2011) investigou o potencial de cultivo agrícola do esgoto tratado no cultivo do capim Tiffon 85, também uma gramínea, e constataram que os níveis mais altos de matéria seca foram encontrados para os tratamentos irrigados com esgoto, sendo significativamente superiores aos obtidos com irrigação com água de poço.

4.2 COMPOSIÇÃO MINERAL DAS FOLHAS DE SORGO

Em relação à composição das folhas de sorgo, só houve efeito da fonte águas de irrigação para os teores nitrogênio, fósforo e manganês e só houve efeito de cultivares para os teores de nitrogênio, ferro e cobre. Houve efeito de interação água X cultivares apenas para os teores de cálcio e magnésio (Tabela 7A, do Apêndice).

As águas de mistura e de esgoto proporcionaram para o sorgo os maiores teores de nitrogênio e manganês nas folhas, e não diferiram entre si. Os maiores e os menores teores de fósforo foram obtidos com as águas de mistura e de poço, respectivamente. A água de esgoto proporcionou valores intermediários (Tabela 9).

Tabela 9 – Médias dos teores de nitrogênio, fósforo e manganês presentes nas folhas de cultivares de sorgo em função de três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	Fósforo (g.kg ⁻¹)	Manganês (mg.kg ⁻¹)
Poço	15,18 B	0,008 B	48,23 B
Mistura	17,94 A	0,012 A	144,25 A
Esgoto	18,80 A	0,010 AB	138,23 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação às cultivares, os maiores teores médio de nitrogênio na folha foi encontrado na cultivar Ponta Negra, sendo a BRS apresentou menor média. Para ferro e cobre, a cultivar IPA proporcionou as maiores médias e a cultivar BRS 506, as menores médias, enquanto a cultivar Ponta Negra proporcionou valores intermediários (Tabela 10).

Tabela 10 – Médias dos teores de nitrogênio, ferro e cobre presentes nas folhas de três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Cultivares	Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	Ferro (mg.kg ⁻¹)	Cobre (mg.kg ⁻¹)
BRS 506	15,45 B	110,29 B	7,09 B
IPA	17,24 AB	130,37 A	10,60 A
Ponta Negra	19,23 A	116,30 AB	8,94 AB

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Não houve efeito de águas de irrigação nos teores de cálcio nas folhas das cultivares BRS 506 e IPA. Entretanto, para a cultivar Ponta Negra, as águas de poço e de esgoto proporcionaram os maiores teores desse elemento, e não diferiram entre si. Comparando-se as cultivares nas águas de irrigação, observa-se nas águas de poço e de mistura, as cultivares BRS e Ponta Negra proporcionaram os maiores valores de cálcio, não diferindo entre si. Na água de

esgoto, a cultivar Ponta Negra proporcionou as maiores médias, seguidas da BRS 506 e da IPA, respectivamente (Tabela 10).

Para os teores de magnésio nas folhas de sorgo, na cultivar BRS 506, a água de poço e de mistura proporcionaram os maiores e os menores valores, respectivamente, enquanto a água de esgoto proporcionou valores intermediários. Na cultivar IPA os teores de magnésio não diferiram em função da água de irrigação. Na cultivar Ponta Negra, os maiores e os menores teores de magnésio foram obtidos com as águas de esgoto e de mistura, respectivamente, enquanto a água de poço proporcionou valores intermediários (Tabela 11). Quando irrigadas com água de poço, a cultivar BRS proporcionou os maiores teores de Magnésio e a cultivar IPA os menores valores, enquanto a Ponta Negra proporcionou valores intermediários. Nas águas de mistura e de esgoto, as cultivares não diferiram em relação aos teores de magnésio (Tabela 11).

Tabela 11 – Médias dos teores de cálcio e magnésio presentes em folhas de três cultivares de sorgo submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Cálcio (g.kg ⁻¹)				Magnésio (g.kg ⁻¹)			
	Cultivares			Médias	Cultivares			Médias
	BRS	IPA	Ponta Negra		BRS	IPA	Ponta Negra	
Poço	0,122 Aa	0,070 Ab	0,136 Aa	0,109	1,140 Aa	0,832 Ab	0,907 ABab	0,960
Mistura	0,108 Aa	0,073 Ab	0,105 Ba	0,095	0,726 Ba	0,773 Aa	0,668 Ba	0,722
Esgoto	0,104 Ab	0,070 Ac	0,151 Aa	0,108	0,879 ABa	0,896 Aa	1,086 Aa	0,954
Média	0,112	0,071	0,131	-	0,915	0,834	0,887	-

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3 COMPOSIÇÃO MINERAL DO CAULE DE SORGO

Em relação à composição mineral do caule das plantas de sorgo, houve efeito de águas de irrigação para nitrogênio, manganês e zinco. Houve efeito de cultivares para nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e zinco. Houve efeito de interação para ferro (Tabela 8A, do Apêndice).

As águas de mistura e de esgoto proporcionaram para o caule das plantas de sorgo os maiores valores de nitrogênio, que não diferiram entre si. Para os teores de zinco, ocorreu exatamente o inverso, ou seja, os maiores valores estavam presente em água de poço, enquanto os menores valores ocorreram com as outras águas, que não diferiram. A água de mistura apresentou maiores teores de manganês, seguida das águas de esgoto e poço, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12 – Médias dos teores de nitrogênio, manganês e zinco presentes nos caules de cultivares de sorgo em função de três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	Manganês (mg.kg ⁻¹)	Zinco (mg.kg ⁻¹)
Poço	7,52 B	34,92 C	37,50 A
Mistura	12,61 A	113,91 A	19,82 B
Esgoto	12,65 A	86,58 B	20,72 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação às cultivares, os maiores e os menores teores de nitrogênio foram proporcionados pelas cultivares IPA e BRS 506, respectivamente. Enquanto a Ponta Negra apresentou valores intermediários. Já para o potássio, os maiores e os menores teores ocorreram com as cultivares IPA e Ponta Negra, respectivamente, enquanto valores intermediários ocorreram com a cultivar BRS 506. A cultivar BRS 506 proporcionou maiores teores de cálcio, seguida das cultivares IPA e Ponta Negra, respectivamente. A cultivar BRS 506 também proporcionou os maiores teores de magnésio, enquanto as outras duas proporcionaram os menores teores e não diferiram entre si. A cultivar Ponta Negra proporcionou os maiores teores de zinco, seguida de IPA e BRS 506, respectivamente (Tabela 13).

Tabela 13 – Médias dos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e zinco presentes nos caules de três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Cultivares	N (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
BRS 506	9,73 B	8,62 AB	0,17 A	1,03 A	16,37 C
IPA	11,86 A	9,36 A	0,10 B	0,50 B	26,18 B
Ponta Negra	11,19 AB	8,27 B	0,04 C	0,41 B	35,51 A

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com relação aos teores de ferro a cultivar Ponta Negra, a água de mistura proporcionou valores superiores às outras duas, que não diferiram. Para cultivares, na água de poço, as cultivares IPA e Ponta Negra proporcionaram as maiores médias e não diferiram. Na água de mistura, a cultivar Ponta Negra proporcionou teores de ferro superiores às outras duas cultivares, que não diferiram entre si. Na água de esgoto, os teores de ferro não diferiram em função da cultivar (Tabela 14).

Tabela 14 – Médias dos teores de (ferro mg.kg⁻¹) presentes em caules de três cultivares de sorgo submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Cultivares			Médias
	BRS	IPA	Ponta Negra	
Poço	10,66 Ab	23,30 Aa	25,30 Ba	19,75
Mistura	21,15 Ab	30,93 Ab	47,70 Aa	33,26
Esgoto	19,19 Aa	19,17 Aa	19,61 Ba	19,32
Média	17,00	24,47	30,87	-

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.4. PRODUÇÃO E QUALIDADE DO SORGO

4.4.1 Rendimentos de colmos e folhas

Houve efeito de água e cultivares para todas as características de folhas e colmos. Entretanto, só houve efeito da interação água x cultivar para as variáveis matéria fresca de folha - MFF, matéria fresca de colmo - MFC e matéria fresca vegetal - MFVT (Tabela 3A, do Apêndice).

O uso da água de esgoto e de mistura proporcionaram maiores médias de produtividades de matéria seca de folhas e matéria seca de colmos (Tabela 15). Para produtividade de colmos secos e produtividade de matéria seca vegetal a cultivar BRS foi superior às demais, sendo a cultivar IPA aquela que apresentou as menores médias. Para produtividade de matéria seca vegetal, as cultivares BRS, IPA e Ponta Negra produziram, respectivamente, 30,7, 19,2 e 25,7 t.ha⁻¹ (Tabela 15), valores próximos aos encontrados por SILVA et al. (2011), que analisaram a matéria seca de 25 híbridos de sorgo no Agreste Paraibano, encontrando valores variando entre 7,7 e 21,0 t.ha⁻¹.

Já PERAZZO et al. (2013), em pesquisa realizada na Estação Experimental de Pendência, da empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A (EMEPA), situada na Mesorregião do Agreste paraibano encontraram valores de produção de massa seca de plantas de sorgo entre 10,9 t.ha⁻¹ a 12,1 t.ha⁻¹, com um acumulado de chuvas de 11 mm.

ALBUQUERQUE (2009), estudando quatro cultivares de sorgo no sertão de Minas Gerais, obteve produtividade de 20,4 t ha⁻¹, semelhante à produtividade obtida por OLIVEIRA (2008) no Semiárido da Bahia, onde foram relatadas produtividades médias de 23,2 t ha⁻¹ de MS. PINHO et al. (2007) obtiveram produtividade de 21,0 t ha⁻¹ de MS na época normal de semeadura na região Sul do Estado de Minas Gerais.

Tabela 15 – Valores médios de produtividade das folhas secas, produtividade de colmos secos e produtividade de matéria seca vegetal (colmos e folhas) para três variedades de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.¹

Produtividade de folhas secas (t ha ⁻¹)					Produtividade de colmos secos (t ha ⁻¹)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	1,98	2,38	3,54	2,63 C	24,3	10,9	14,1	16,4 C
Mistura	2,63	3,42	5,29	3,78 B	27,2	16,2	21,1	21,5 B
Esgoto	3,47	4,17	6,40	4,68 A	32,5	20,6	26,8	26,6 A
Média	2,69 c	3,32 b	5,08 a	-	28,0 a	15,9 c	20,6 b	-
Produtividade de matéria seca vegetal (t ha ⁻¹)								
Cultivares								
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias				
Poço	26,2	13,2	17,6	19,0 C				
Mistura	29,8	19,6	26,4	25,2 B				
Esgoto	36,0	24,7	33,2	31,3 A				
Média	30,7 a	19,2 c	25,7 b	-				

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Para massa fresca, não houve diferença de matérias frescas de folhas para a cultivar BRS em função das águas de irrigação. Para as cultivares IPA e Ponta Negra, as águas de mistura e de esgoto proporcionaram as maiores médias para essa característica, não diferindo entre si. Para cultivares, nas águas de poço, mistura e de esgoto, a cultivar Ponta Negra foi superior às outras duas, que não diferiram. Na água de mistura, a cultivar Ponta Negra apresentou a maior média, seguida da cultivar IPA, sendo a cultivar BRS 506 àquela que proporcionou a menor média (Tabela 16).

Para matéria fresca de colmo, as águas de irrigação não diferiram em relação à cultivar IPA. A água de esgoto proporcionou valores superiores para as cultivares BRS e Ponta Negra, enquanto a água de poço proporcionou os menores valores. A água de mistura proporcionou valores intermediários para as duas cultivares. Para cultivares BRS e Ponta Negra foram as que apresentaram as maiores médias em todas as águas de irrigação, e não diferiram entre si, enquanto que a cultivar IPA apresentou os menores valores (Tabela 16).

Estudos realizados em Goiânia - GO, com quatro cultivares de sorgo forrageiro plantados em dezembro de 2002 por OLIVEIRA et al. (2005), registraram matéria verde variando de 45,9 a 65,6 t ha⁻¹ (média de 59,3 t ha⁻¹). Já no litoral do Rio Grande do Norte, AGUIAR et al. (2006) não encontraram diferença significativa ($P > 0,05$) entre a produção média de matéria verde dos sorgos forrageiros SF-25 (47,89 t ha⁻¹) e IPA 467-4-2 (44,77 t ha⁻¹) cultivados de junho a agosto de 2002.

Tabela 16 – Médias de matéria fresca de folhas, matéria fresca de colmo e matéria fresca vegetal total para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Matéria fresca de folha (t ha ⁻¹)					Matéria fresca de colmo (t ha ⁻¹)			
Águas	Cultivares			Médias	Cultivares			
	BRS (506)	IPA (2502)	Ponta Negra		BRS (506)	IPA (2502)	Ponta Negra	Médias
Poço	12,57Ab	11,23Bb	16,69Ba	13,50	65,59 Ba	41,86 Ab	60,53 Ca	55,99
Mistura	14,76Ac	19,77Ab	23,63Aa	19,39	75,48 ABa	54,43 Ab	77,44 Ba	69,12
Esgoto	15,99Ab	18,88Ab	25,08Aa	19,99	87,45 Aa	52,26 Ab	97,06 Aa	79,93
Média	14,44	16,63	21,80	-	76,17	49,51	78,34	-
Matéria fresca vegetal total (MFVT) (t ha ⁻¹)								
Águas	Cultivares			Médias				Médias
	BRS (506)	IPA (2502)	Ponta Negra					
Poço	78,17 Ba	53,09 Bb	77,22 Ca	69,49				
Mistura	90,24 ABab	74,20 Ab	101,06 Ba	88,50				
Esgoto	103,45 Ab	71,14 Ac	122,14 Aa	98,91				
Média	90,62	66,14	100,14	-				

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Também CUNHA et al. (2010) obtiveram rendimento do sorgo SF-25 bem similar ao descrito por esses autores, enquanto o do IPA 467-4-2 foi consideravelmente maior, a produção média de matéria verde foi de 46,77 t ha⁻¹. Dezoito genótipos destacaram-se como os mais produtivos, com média de 45,33 a 68,10 t ha⁻¹, seguidos de oito genótipos com produção intermediária (média de 39,13 a 44,08 t ha⁻¹) e pelos genótipos T34 (SUDAN 4202 R1), mesmo assim, nesse trabalho obtivemos resultados superiores aos encontrados pelos os estudos citados a cima obtendo de (53,09 a 78,17 t ha⁻¹) para água de poço, com média de 69,49 t ha⁻¹, na água mistura produtividade de (74,12 a 101,06 t ha⁻¹) com média de 88,50 t ha⁻¹ e na água de esgoto produtividade de (71,14 a 122,14 t ha⁻¹) com média de 98,91 t ha⁻¹ de matéria fresca sendo a Cultivar Ponta Negra mais produtiva em massa verde.

Para matéria fresca vegetal total, a água de esgoto proporcionou valores superiores para as cultivares BRS (506) e Ponta Negra, enquanto a água de poço proporcionou os menores valores. A água de mistura proporcionou valores intermediários para as duas cultivares. As águas de esgoto e de mistura proporcionaram a cultivar IPA as maiores médias, não diferindo entre si. Para cultivares em águas de poço, as cultivares BRS e Ponta Negra apresentaram as maiores médias, e não diferiram entre si, enquanto que a cultivar IPA apresentou os menores valores. Nas águas de mistura e de esgoto, as maiores médias se deram com a cultivar Ponta Negra, e a menor média se deu com a cultivar IPA. A cultivar BRS teve um comportamento intermediário (Tabela 16).

Pesquisando cinco cultivares entre elas, Ponta Negra e IPA 2402 PERAZZO et al. (2013), conseguiram valores para a MFVT variado entre 37,18t ha⁻¹ e 52,14 t.ha⁻¹, inferiores aos encontrados nessa pesquisa. Também esses resultados são superiores aos encontrados por NEUMANN et al. (2002) em avaliação de híbridos de sorgo, que encontraram variações de 22,71 a 39,56 t.ha⁻¹. Entretanto, Rodrigues Filho et al. (2006), avaliando o potencial produtivo de híbridos, observaram mas próximos aos encontrados neste estudo, com MFVT variando de 45,87 a 67,56 t.ha⁻¹, o que se deve provavelmente às condições edafoclimáticas do local de estudo.

4.4.2 Rendimentos de panícula

Houve efeito da interação águas x cultivares para massa das panículas (MP) (Tabelas 5A e 6A, do Apêndice).

Na cultivar BRS, não houve diferença entre águas para massa da panícula. Na cultivar Ponta Negra, as águas de esgoto e de mistura proporcionaram as maiores médias, e não diferiram. Na cultivar IPA, a maior média de massa de cacho foi proporcionada pela água de esgoto, e a menor média, pela água de poço (Tabela 17). A água de mistura proporcionou massa intermediária.

Para cultivares em águas, as cultivares não diferiram em massa da panícula quando irrigadas com água de poço, mas quando foram irrigadas com águas de esgoto ou de mistura, as cultivares IPA e Ponta Negra obtiveram as maiores médias, não diferindo entre si, e sendo superiores à cultivar BRS (Tabela 17). NADIA (2005) também relataram aumento no rendimento de sorgo na irrigação com água residuária em relação à água de poço e que poderia ser devido à elevada quantidade de nitrato presentes nas águas residuais de esgoto doméstico tratado.

Tabela 17 – Médias de massa de panícula para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Massa de panícula (t ha ⁻¹)				
Águas	Cultivares			Médias
	BRS (506)	IPA (2507)	Ponta Negra	
Poço	2,77 Aa	4,37 Ba	3,53 Ba	3,55
Mistura	2,75 Ab	6,01 ABa	6,15 Aa	4,97
Esgoto	3,01 Ab	6,97 Aa	6,53 Aa	5,50
Média	2,84	5,78	5,40	-

¹ Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os teores de NPK na água residuária levou a um aumento no rendimento de grãos. Alguns pesquisadores também têm relatado que a aplicação de macro e micro fertilizantes oriundos da água residuária aumenta o rendimento de milho e sorgo (GHANBARI et al., 2007).

São vários os trabalhos que demonstram os aumentos na produção de matéria seca e grãos por espécies de interesse agrônomo cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto (DEFELIPO et al., 1991; DA ROS et al., 1993; BERTON et al., 1997), podendo esses aumentos serem, inclusive, equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral recomendada para a cultura (DA ROS et al., 1993; SILVA et al., 2001).

Pesquisas observaram que o sorgo irrigado com efluente tratado teve um desempenho bem superior, com uma produção de grãos de 3.535 Kg.ha⁻¹, enquanto que aquele que recebeu água de abastecimento normal alcançou 605 Kg.ha⁻¹. As produções de massas seca e bruta também foram bem superiores com o uso de efluentes (MOTA et al., 1996).

4.4.3 Rendimentos e qualidade do caldo

Em relação ao volume de caldo (rendimento de caldo) teor de graus °Brix (teor de sólidos solúveis totais), houve efeito apenas para o fator cultivares (Tabela 5A, do Apêndice).

Para o °BRIX, a cultivar BRS 506 proporcionou os maiores valores. Às cultivares IPA e Ponta Negra proporcionaram as menores médias, e não diferiram entre si (Tabela 18). Comparando com estudos em três localidades feitas por Albuquerque et al. (2012), notou-se variação no °Brix da cultivar BRS 506, com maiores valores (18,86) em Leme do Prado e menores valores em Nova Porteirinha (16,47).

Nas condições experimentais atuais obteve-se médias superiores aos estudos citados anteriormente, com média de 19,40 °Brix. Isso pode ter sido provocado pelas condições ambientais, fertilidade do solo ou radiação solar da época pois, segundo os trabalhos de Teixeira et al. (1999), °Brix do caldo do sorgo sacarino é grandemente influenciado pelo comprimento do dia e pela radiação global. Outros autores afirmam ainda que °Brix pode ser influenciado pela adubação ou pela fertilidade do solo (KUMAR et al., 2008).

Essas características podem ser importantes na produção de etanol, onde o bagaço gerado também pode ser usado na geração de energia térmica ou elétrica (utilizado na produção industrial) ou na produção de etanol de celulose, (ALMODARES e HADI, 2009, SIPOS et al., 2009).

Já para volume de caldo, a cultivar BRS obteve a maior média, seguida da cultivar Ponta Negra. A cultivar IPA proporcionou a menor média quanto a esta característica (Tabela 18). Resultados encontrados nesta pesquisa foram superiores aos encontrados por ALBUQUERQUE et al. (2012), observando-se diferença entre cultivares sacarinas em diferentes espaçamentos (70 e 110 cm), no menor espaçamento, a cultivar BRS 507 foi superior, com 13,43 t.ha⁻¹ de caldo. Já no maior espaçamento, o BRS 506 foi superior, com 11,59 t.ha⁻¹, resultados estes menores do que os encontrados nessa pesquisa para a mesma cultivar sacarina.

Tabela 18 – Média das variáveis de rendimento e qualidade do caldo teor de sólidos solúveis (°BRIX) e produtividade de volume de caldo para três cultivares de sorgo em três fontes hídricas. Mossoró-RN. 2016.¹

Teor de graus (°Brix)					Volume de caldo (t ha ⁻¹)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	19,5	16,9	16,1	17,5 A	20,2	4,4	10,4	11,6 A
Mistura	19,4	15,3	16,4	17,0 A	22,9	4,8	8,3	12,0 A
Esgoto	19,4	15,3	16,0	16,9 A	16,1	5,4	11,2	10,9 A
Média	19,4 a	15,8 b	16,2 b	-	19,7 a	4,9 c	10,0 b	-

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Isso se deu pelo provavelmente pelo espaçamento adotado nesta pesquisa, o espaçamento influencia na produção de massa de caldo, quanto mais adensado maior a produção de massa de caldo, estes resultados corroboram os obtidos por KUMAR et al. (2008) em experimento conduzido em diferentes localidades na Índia. Tais autores demonstraram, ao avaliar cultivares de sorgo sacarino sob dois arranjos de plantas (15 x 40 e 15 x 60 cm), que as maiores produtividades de caldo foram obtidas nos menores espaçamentos e nas maiores populações.

4.5 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Em relação aos atributos químicos do solo as características de solo, só houve efeito de águas de irrigação para condutividade elétrica (CE). Para cultivares, houve efeito para CE, soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions do solo a pH 7,0 (CTC). Houve efeito de interação para fósforo (P), sódio (Na) e magnésio (Mg) (Tabela 9, do Apêndice).

Em relação às águas de irrigação, a água de esgoto proporcionou ao solo maior condutividade elétrica (3,71), enquanto que a água de poço, o menor valor (2,31). A água de

mistura proporcionou ao solo comportamento intermediário para esta característica (3,29). A salinidade nesse caso, não é problema pois está abaixo do que é considerado um solo com sais que impeça a diminuição de energia pela planta de sorgo para desenvolver seu crescimento. Conforme PAGANINI (1997), o problema pode ser agravado sob clima quente e seco, como é o caso da região em estudo, no entanto, ausente desse problema, constatado pela excelente produtividade do sorgo. Segundo AYERS e WESTCOT (1999) o solo tem uma salinidade de $5,0 \text{ dS.m}^{-1}$.

Com relação à condutividade elétrica das águas (esgoto, mistura e abastecimento), os seus valores médios atenderam ao padrão de potabilidade previsto na Portaria Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011a), sendo inferior ao limite de $1,57 \text{ dS m}^{-1}$. Além disso, a condutividade elétrica média das águas indicam baixos riscos de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ (NAKAYAMA et al., 2006).

No entanto, alguns cuidados devem ser tomados com as seguidas concentrações em cultivos sucessivos com a concentração da água de esgoto, nessas áreas, pois podem elevar os níveis de CE no solo com o tempo, principalmente em escassez, onde se gastam menos água (per capita), consequentemente, deixam os esgotos mais concentrados e com a colaboração da alta evaporação da água, por causa da temperatura elevada na região, o faz concentrá-los ainda mais (SARAIVA, 2013).

Constata-se que as análises apresentaram valores abaixo do recomendado para uso agrícola de água residuária . CEARÁ (2002) indica valor médio da condutividade elétrica de água residuária tratada inferior ao limite de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Outros autores apresentam resultados que difere desse estudo como os de MOURA et al. (2011), que obtiveram valor de $1,05 \text{ dS m}^{-1}$ cultivando capim elefante aplicando água residuária, tratada por meio tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. Esses resultados diferem dos obtidos FONSECA (2001) ao estudar as alterações nas características químicas do solo irrigado com esgoto doméstico tratado que constatou um incremento na condutividade elétrica do solo em razão da aplicação do efluente. Resultados diferentes também foram encontrados por COSTA (2012), onde constatou-se maiores valores da condutividade elétrica nas camadas mais superficiais do solo.

Em relação à soma de Base (SB) e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), os resultados das análises de solo indicam que os maiores valores foram proporcionados pela cultivar IPA, enquanto os menores valores foram proporcionados pela cultivar Ponta Negra (Tabela 21). Já o solo cultivado com a BRS 506 proporcionou comportamento intermediário para estas características. As cultivares não influenciaram o solo em relação à CE, embora, na análise de variância, o teste F tenha indicado diferença (Tabela 19). Tudo indica que os fatores

que contribuíram para este fato estão ligados na arquitetura da planta (Cultivar IPA). Proporcionando o acúmulo de resíduos culturais e, por conseguinte, do carbono orgânico total, proporcionado pelo cultivo. De acordo com DA SILVA (2007), explica que quantidade de carbono da biomassa microbiana reflete a presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes.

Solos que receberam esgotos domésticos de forma planejada e com técnica adequada de irrigação pode suprir parte dos nutrientes às plantas. Porém, providências devem ser tomadas prontamente, no sentido de minimizar o comprometimento do solo em médio e longo prazo (MEDEIROS et al., 2015).

Tabela 19 – Médias dos teores de condutividade elétrica, soma de bases e capacidade de troca de cátions à pH 7,0 de solo cultivado com três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Cultivares	Condutividade elétrica (CE em dS/m)	Soma de bases (SB em cmolc/dm ³)	Capacidade de troca de cátions (CTC em cmolc/dm ³)
BRS 506	0,43 A	5,06 AB	5,06 AB
IPA	0,50 A	5,85 A	5,85 A
Ponta Negra	0,43 A	4,47 B	4,47 B

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). A capacidade de troca iônica dos solos representa, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes.

De acordo com RIBEIRO, GUIMARÃES e ALVAREZ V. (1999), a interpretação para a CTC do solo é a seguinte: CTC a pH 7,0 (T) menor que 4,31 cmolc/dm³ (baixo), de 4,31 a 8,6 cmolc.dm⁻³ (médio) e maior que 8,6 cmolc.dm⁻³ muito bom quanto à CTC, as cultivares a BRS e ponta negra foram estatisticamente diferente, a cultivar IPA apresentou-se semelhante a cultivar BRS e diferente estatisticamente cultivar Ponta Negra.

Conforme RIBEIRO, GUIMARÃES e ALVAREZ V., (1999), a classificação do solo quanto à análise da CTC a pH 7,0 para as cultivares demonstrou resultado dentro da faixa de médio, apesar da aplicação considerável de água residuária. Ressaltando que o solo apresentou baixa CTC a pH 7,0 (4,4) pode ser observado um incremento na CTC quando cultivado com as cultivares de sorgo sendo a IPA a que mais contribui.

O P é o macronutriente primário menos exigido em quantidade pelas plantas, porém o mais usado em adubação no Brasil, nas regiões tropicais e subtropicais. É o elemento, cuja falta no solo frequentemente limita a produção.

Os teores de fósforo no solo não apresentaram diferença quando a cultivar BRS recebeu água de poço e água residuária, sendo superiores à água de mistura. Já para cultivar IPA, os teores de fósforo não diferiram estatisticamente quando a cultivar recebeu a aplicação das águas de mistura e residuária, enquanto que a irrigação com água de poço proporcionou teor de fósforo inferior. Os teores de fósforo no solo comportaram-se estatisticamente semelhantes para a cultivar Ponta Negra sob a irrigação de água de poço, água de mistura e água residuária (Tabela 22).

Quando compara-se esses valores de fósforo, do início do cultivo ($7,7 \text{ mg.dm}^{-3}$), observa-se que houve uma redução do fósforo do solo, comportando-se agronomicamente como muito baixo. De acordo com a CFSEMG (1999), na profundidade de 0,10 m com 10% de argila, o fósforo recebe a classificação agrônômica muito baixo (inferior a $10,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) e baixo ($10,1$ a $20,0 \text{ mg.dm}^{-3}$). Na literatura existem vários relatos de alterações nos teores de fósforo no solo em decorrência da aplicação de águas residuárias, concordando com os resultados encontrados neste trabalho. FONSECA (2001) não constatou alteração no teor de fósforo do solo mediante aplicação de água residuária de origem doméstica. Por outro lado, KOURAA et al. (2002) explica que para ocorrer mudanças nas características químicas do solo são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica deste ocorre muito lentamente.

O solo apresentou teores de fósforo estatisticamente iguais, quando as cultivares (IPA e BRS) receberam a aplicação de água de poço, e o teor de fósforo no solo foi estatisticamente inferior quando a cultivar Ponta Negra foi irrigada com água de poço.

Para água de mistura, o solo apresentou teor de fósforo estatisticamente semelhante para todas cultivares, já para água residuária o teor de fósforo foi estatisticamente superior para a cultivar IPA, enquanto que as cultivares BRS e Ponta Negra quando irrigadas com água residuária obtiveram médias estatisticamente inferior com relação ao teor de fósforo no solo.

Em relação aos teores de sódio no solo, a cultivar BRS, não apresentou diferença estatística quando recebeu aplicação da água de esgoto e de mistura, já quando foi irrigada com água de poço apresentou média de Sódio no solo estatisticamente inferior. Com relação as médias de Sódio no solo estas não definiram estatisticamente quando a cultivar IPA foi irrigada com água de poço, os teores de sódio no solo foram os mesmos, independentemente da água de irrigação. Para a cultivar Ponta Negra, o maior teor de sódio no solo ocorreu quando esta

cultivar foi irrigada com a água de esgoto e os menores valores, já quando o cultivo aconteceu com as águas de poço e de mistura os teores não diferiram (Tabela 20).

Avaliando as cultivares dentro das águas, de poço e de esgoto não proporcionaram diferenças nos teores de sódio no solo, independentemente da cultivar. Entretanto, para a água de mistura, a cultivar BRS proporcionou valores superiores às outras duas, que não diferiram (Tabela 20). Constatou-se que os maiores teores de sódio no solo foram obtidos no tratamentos com maior aporte de sódio fornecido pela água residuária em relação aos demais tratamentos. Um fato que merece destaque é que os teores de sódio antes do cultivo foi maior e, até ao final do cultivo esses valores foram rebaixados.

Em relação aos teores de magnésio no solo, a cultivar BRS, quando irrigada com água de esgoto, proporcionou os maiores teores, enquanto os menores teores foram proporcionados pela água de poço. A água de mistura proporcionou comportamento intermediário. As cultivares IPA e Ponta Negra não proporcionaram diferença em função das águas de irrigação (Tabela 20). Para cultivares dentro das águas, na água de poço, a cultivar IPA proporcionou valores superiores de magnésio no solo, enquanto os menores valores foram proporcionados pela cultivar BRS. A cultivar Ponta Negra proporcionou valores intermediários. Na água de mistura, os teores de magnésio não diferiram entre as cultivares. Na água de esgoto, às cultivares BRS e IPA proporcionaram valores superiores, e não diferiram (Tabela 20).

Tabela 20 – Médias dos teores de fósforo, sódio e magnésio no solo cultivado com três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Fósforo (mg.dm ⁻³)					Sódio (mg.dm ⁻³)			
Cultivares					Cultivares			
Águas	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias	BRS	IPA	Ponta Negra	Médias
Poço	5,67 Aa	3,47 Bb	3,51 Ab	4,22	22,73 Ba	24,77 Aa	24,40 Ba	23,96
Mistura	3,30 Ba	4,10 ABa	4,52 Aa	3,97	71,15 Aa	35,71 Ab	21,43 Bb	42,77
Esgoto	4,22 ABab	5,64 Aa	3,32 Ab	4,40	65,77 Aa	43,32 Aa	66,51 Aa	58,54
Média	4,40	4,40	3,78	-	53,22	34,60	37,45	-
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)								
Cultivares								
Águas	BRS		IPA		Ponta Negra		Médias	
Poço	1,36 Bb		2,76 Aa		1,83 Aab		1,98	
Mistura	1,92 ABa		2,58 Aa		2,03 Aa		2,18	
Esgoto	2,85 Aa		3,00 Aa		1,50 Ab		2,45	
Média	2,04		2,78		1,79		-	

¹ Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Para o magnésio observa-se que ocorreram acréscimos importantes nos seus teores após o cultivo, podendo ser classificados agronomicamente o solo como nível bom os que apresentam teores entre (0,91 a 1,50 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e muito bom os que apresentam teores superior a 1,50 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, segundo classificação citada por CFSEMG (1999). De acordo com RICCI et al. (2010), os teores de magnésio foram influenciados significativamente pela adição de lodo de esgoto no solo. No trabalho desenvolvido por ERTHAL (2009), as concentrações de magnésio no solo aumentaram com o tempo de aplicação quando da aplicação de água residuária da bovinocultura.

O pH do solo é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas; valores ótimos de pH variam entre 6,0 e 6,5, nesta faixa ocorre a disponibilidade máxima de macronutrientes, bem como limita-se a disponibilidade máxima dos micronutrientes e se reduz a acidez do solo que é uma das principais limitações da produção agrícola (MALAVOLTA et al., 2007).

Na ART o valor médio do pH encontram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida pela Resolução Conama no 430/2011 para lançamento de água residuária doméstica tratada em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011b). Além disso, esse valor médio foi superior ao pH de 6,81 obtido por MOURA et al. (2011) em água residuária doméstica tratada com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar, onde houve uma ligeira acidificação do efluente em função do tratamento anaeróbio.

Houve aumento dos valores de pH, Zn, Cu e Mn nas maiores proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento (OLIVEIRA et al.; 2014). Deve-se ressaltar que os valores de pH dos solos sob os tratamento encontram-se na média de 7,04, portanto, dentro da faixa adequada CFSEMG (1999), sendo classificados agronomicamente como bom.

4.6 CULTIVARES DE SORGO (BRS 506 E PONTA NEGRA) COMO FONTE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA (Biomassa)

A Tabela 21 representa, comparativamente, a produção de briquetes e o poder calorífico do bagaço de sorgo puro e com as mistura (com cinzas e/ou serragem) que as variedades BRS 506 e Ponta Negra podem proporcionar, quando cultivadas em diferentes águas de irrigação.

Em relação à produção de briquetes de bagaço de sorgo puro ou misturado com cinza e/ou serragem, a variedade BRS 506 foi superior à Ponta Negra quando irrigada com as águas de esgoto e de mistura, sendo inferior quando irrigada com água de poço.

O poder calorífico (MWh t^{-1}) foi obtido da relação entre a produção de energia por hectare (MWh ha^{-1}) e a produção de briquetes (t ha^{-1}). Dessa forma, em todas as águas de irrigação, o poder calorífico da variedade Ponta Negra foi superior à BRS 506 quando a cogeração de energia foi realizada a partir do bagaço puro ou quando o bagaço foi misturado com cinza e serragem (bagaço + 10% cinzas + 18% de serragem). Na mistura bagaço + 20% de serragem, ocorreu o inverso, e o poder calorífico da variedade BRS 506 foi superior em todas as águas. Não houve diferença entre variedades e nem entre as águas quando o bagaço foi misturado com 10% de cinza (Tabela 21). Vale destacar que, para a variedade Ponta Negra, os maiores valores de poder calorífico se deram no bagaço puro, em todas as águas. Já para a variedade BRS 506, os maiores valores de poder calorífico se deram nas misturas de bagaço + 20% de serragem e bagaço + 10% de cinza + 18% de serragem (Tabela 21).

Era esperado que as águas de mistura e de esgoto proporcionassem algum incremento no poder calorífico das variedades, já que as produções de briquetes e de energia para essas variedades foram superiores naquelas águas. Entretanto, isso não foi observado, e o comportamento de cada variedade nas diferentes águas proporcionou o mesmo poder calorífico, em cada forma de utilização do bagaço, isto é, puro ou misturado (Tabela 21).

Também PAZIANI et al. (2006) cite algumas razões importantes do sorgo como cogeração de energia, pois, apresenta alta produção de massa verde ($28,6$ a $137,7 \text{ t ha}^{-1}$) e massa seca entre ($8,9$ a $39,5 \text{ t ha}^{-1}$), quando comparada com a do milho ($29,4$ a $59,4 \text{ t ha}^{-1}$ de massa verde e $11,4$ a 23 t ha^{-1} de massa seca) e citado por National Research Council (1996) com uma das plantas mais eficientes fotossinteticamente (usa o ciclo C4) é uma cultura de considerável potencial de biomassa.

MOTA et al. (1997), comparando o desempenho de plantas de algodão e sorgo irrigadas com esgoto tratado e água, verificaram que plantas irrigadas com esgoto tratado apresentaram desempenhos melhores do que as que receberam água. Ainda, segundo esses autores, a utilização de esgotos tratados em irrigação resulta em benefícios para as culturas, pois os esgotos domésticos são, normalmente, ricos em nutrientes, os quais proporcionam melhor desempenho às culturas, reduzindo, ou mesmo eliminando, a aplicação de fertilizantes.

Em relação à produção de etanol e o envolvimento energético, apenas para efeito de comparação de valores absolutos, a variedade BRS 506 foi superior à Ponta Negra em todas as águas de irrigação (Tabela 22). De fato, a variedade BRS 506 foi desenvolvida pela EMBRAPA Milho e Sorgo para atender a demanda por matéria-prima alternativa complementar à cana-de-açúcar para a produção de etanol e a cultivar ponta Negra com propósito de produção de grãos e forragem (EMBRAPA, 2016).

No entanto, valor de 39,6 l por cada tonelada de colmo encontrado na cultivar BRS 506 são considerados baixos em vistas aos valores referencias citados pela Embrapa Milho e Sorgo (SCHAFFERT et al; 2011) estabelecendo quatro cenários para o rendimento na produção de etanol (L/t de biomassa): baixo, 40 L/t; médio-baixo, 60 L/t; médio-alto, 70 L/t; alto, 85 L/ton. Provavelmente a explicação seja na forma de extração, pois a moenda utilizada no processo não tem a pressão suficiente de extrair todo o caldo do bagaço.

Uma das explicações para baixa produção de etanol (L/t de biomassa) foi com relação ao tempo de colheita realizada da BRS 506 aos 98 dias e a Ponta Negra aos 106 dias (DAP), bem como adensamento de plantas por ha, provavelmente, pois após atingir o florescimento, inicia o processo de acúmulo de açúcares em uma taxa mais elevada, até alcançar a maturação fisiológica dos grãos. Nessa época, normalmente, ocorre o máximo no conteúdo de açúcares redutores e totais no caldo e na percentagem de caldo extraível. Estes dois parâmetros, entretanto, constituem um método aproximado de determinação do ponto ótimo de colheita, que pode variar de acordo com a cultivar e as condições ambientais. A colheita do sorgo sacarino deve ser realizada no período de maior acúmulo de açúcares nos colmos, ou seja, quando o grão fica no ponto de pastoso/farináceo. Esse período ocorre, em média, entre 110 e 125 dias, ou seja, no estágio final da cultura (EMBRAPA, 2012).

RIBEIRO et al. (2012) Constatam que a melhor densidade de plantas para obtenção de maiores valores de volume de caldo, massa verde, peso do bagaço e peso do bagaço seco obtidos de plantas de sorgo cortadas a partir do florescimento é de 160 mil plantas ha⁻¹

Em relação ao envolvimento energético, as duas variedades obtiveram maiores valores quando irrigadas com águas de mistura e de esgoto, sendo esta última a que proporcionou maiores incrementos na produção de etanol e geração de energia (Tabela 22).

Ao se comparar o caldo e o bagaço do sorgo sacarino com o da cana-de-açúcar encontram-se várias semelhanças, como por exemplo, na eficiência energética do bagaço de ambas as matérias-primas. A eficiência energética do bagaço para a cogeração é de 2.150 kcal/kg para o bagaço de cana é 2.200 kcal/kg para o bagaço de sorgo. Além disso, o sorgo sacarino é uma cultura neutra em emissão de gases (CO₂ neutral), pois são emitidas 1,5 toneladas de CO₂/ha durante o ciclo vegetativo, 8,5 toneladas de CO₂/ha para conversão e 35 toneladas de CO₂/ha para combustão, mas são absorvidos 45 toneladas de CO₂/ha durante o ciclo vegetativo (FERNANDES, 2014).

Em vários países do mundo já utiliza o sorgo sacarino na produção de etanol como nos países Índia, China, Austrália e África do Sul já são considerados as principais fontes de

biomassa. Nos Estados Unidos o sorgo sacarino é uma das apostas americanas para substituir o milho na produção de etanol (TEIXEIRA et al.; 2013).

No Brasil já existem mais de 12.000 ha plantados com sorgo sacarino, onde estão sendo realizados testes com uma variedade híbrida, com produtividade entre 60 e 80 t/ha, 12% de teor de açúcar, entre 11% e 15% de fibra, além de produzir grãos, comparada a cana-de-açúcar a média de 90 t/ha, entre 13% e 14% de açúcar e até 12% de fibras. O rendimento médio em t/ha da produção de um híbrido de sorgo sacarino produzido no Brasil, na safra de 2010, foi de 80 t/ha de biomassa, 30 t/ha de bagaço, 45 t/ha de caldo, 5 t/ha de folhas e palhas (TEIXEIRA et al.; 2013).

De fato, faz-se, necessária buscar outras fontes de matérias-primas para produção de etanol, visando à sustentabilidade e à consolidação do conceito de energia renovável. O Brasil, além de concentrar grande número de pequenos, médios e grandes produtores, apresenta uma diversidade de condições ambientais que permitem, ao explorar o potencial de matérias-primas renováveis e com aptidão regional, promover a descentralização da produção de etanol (FERNANDES, 2014).

Apesar da pouca produção Etanol encontrados nesses estudos de (1245,8 a 333,3 L) conforme (TABELA, 16). Vários autores têm relatado dados de produtividade de etanol em termos de litros por hectare no mundo todo, conformes os dados apresentados por: TEW et al. (2008) apresentando a produtividades em várias cultivares sacarinas de 3380, 2780, 3000, 2950 e 2620 L.ha⁻¹ respectivamente. MILLER e OTTMAN (2010) encontrou produtividades que variaram de 2639 a 2878 L.ha⁻¹, Já ERICKSON et al. (2011), cultivando diferentes cultivares sacarinas obteve rendimento médios de 3611 L ha⁻¹. Também DUTRA et al. (2013) pesquisando variedades de sorgo produziram entre 949 e 2066 L ha⁻¹. Finalmente, RAO et al. (2013) mostrou que os híbridos indianos produziram em médias 925 à 1440 litros por hectare.

Tabela 21 – Produção de briquetes e poder calorífico a partir do bagaço (puro ou em mistura com cinza e serragem) de duas variedades de sorgo, submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Variedades	Bagaço			Bagaço + 10% de cinzas			Bagaço + 20% de serragem			Bagaço + 10% cinzas + 18% de serragem		
		briquetes (t ha ⁻¹)	MW.h ha ⁻¹	MW.h t ⁻¹	briquetes (t ha ⁻¹)	MW.h ha ⁻¹	MW.h t ⁻¹	briquetes (t ha ⁻¹)	MW.h ha ⁻¹	MW.h t ⁻¹	briquetes (t ha ⁻¹)	MW.h ha ⁻¹	MW.h t ⁻¹
Poço	BRS 506	6,8	27,4	4,1	7,5	33,2	4,4	8,4	38,1	4,5	9,4	42,5	4,5
	Ponta Negra	8,7	44,7	5,1	9,7	42,7	4,4	10,9	46,4	4,2	12,1	55,9	4,6
Esgoto	BRS 506	14,0	56,7	4,1	15,6	68,9	4,4	17,5	79,0	4,5	19,4	88,0	4,5
	Ponta Negra	11,5	58,9	5,1	12,8	56,2	4,4	14,4	61,1	4,2	16,0	73,6	4,6
Mistura	BRS 506	13,9	56,4	4,1	15,5	68,4	4,4	17,4	78,5	4,5	19,3	87,4	4,5
	Ponta Negra	9,5	48,5	5,1	10,5	46,3	4,4	11,9	50,3	4,2	13,2	60,6	4,6

Tabela 22 – Produção de etanol e envolvimento energético de duas variedades de sorgo, submetidas a três águas de irrigação. Mossoró-RN. 2016.¹

Águas	Variedades	Litro de Etanol / Toneladas de colmo	Etanol (L ha ⁻¹)	Envolvimento energético	
				MJ ha ⁻¹	MWh ha ⁻¹
Poço	BRS 506	39,6	457,0	10.294,9	2,9
	Ponta Negra	21,0	333,3	7.506,6	2,1
Esgoto	BRS 506	39,6	1245,8	28.060,7	7,8
	Ponta Negra	21,0	675,6	15.216,9	4,2
Mistura	BRS 506	39,6	890,5	20.057,4	5,6
	Ponta Negra	21,6	428,5	9.651,2	2,7

5 CONCLUSÕES

- O aumento vegetativo e produtivo das plantas de sorgos BRS 506, IPA 2502 e Ponta Negra foi influenciado positivamente pelas águas: esgoto, mistura e abastecimento sucessivamente usado na fertirrigação.
- A irrigação com água residuária influencia a qualidade do sorgo em termo de sólido solúvel total;
- Os teores de micronutrientes no colmo e nas folhas das plantas de sorgo, percentual de matéria seca e produção de massa verde em todas as cultivares, foram influenciados pelas águas esgoto e mistura, apresentaram respostas a aplicação elevada de concentração do esgoto em detrimento a água de poço;
- A utilização de esgoto no cultivo de sorgo forrageiro é uma forte alternativa na produção de forragem na região semiárida brasileira;
- As águas não influenciaram o aporte de nutrientes ao solo, visto se tratar de uma área de pouco tempo de uso de irrigação com esgoto;
- As águas esgoto e mistura, resultou em maior produção de biomassa: produção de briquetes, produção de etanol e poder calorífico.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. Carvão Vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade. Belo Horizonte, v. 1, p. 197-206, 1982.

ALMEIDA, ML; Merotto JR., A.; SANGOI, G.; ENDER, M.; GUIGDOLIN, AF Incremento na Densidade de plantas: Uma alternativa Pará Aumentar o Rendimento de Grãos de milho em Regiões de Curta Estação estival de Crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, 30 v., n. 1, p.23-29, 2000.

ALBUQUERQUE, CARLOS JULIANO, FLÁVIO TARDIN, RAFAEL PARRELLA, ADRIANO GUIMARÃES, RENATO OLIVEIRA, and KAREN SILVA. "Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** (2012).

ANDRADE, Luiz Carlos et al. Avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de sorgo granífero em três ambientes. **Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, 2016.

ALVES, Wagner Walker Albuquerque et al. Águas residuárias e nitrogênio: efeito na cultura do algodão marrom. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 16-23, 2009.

ASSIS, J. M. O. de: ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2012.

ARAÚJO, VL; RODRIGUEZ, NM; GONÇALVES, LC; RODRIGUES, J. COMO; BORGES, I .; BORGES, ALCC Avaliação Agronômica de Três Híbridos de sorgo (BR 700, BR 701 E MASSA 03) colhidos em cinco Diferentes Estádios de maturação. Em: Reunião ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife, PE. Anais ... Recife: SBZ, 2002. 1 de CD-ROM.

ARAÚJO, L.F.P. **Reúso com lagoas de estabilização; Potencialidade no Ceará.** Fortaleza-SEMACE, 2000. 123p.

ARAÚJO, G.M.; HARIDASAN, M. Estrutura fitossociológica de duas matas mesófilas semidecíduas, em Uberlândia, Triângulo Mineiro. *Naturalia*. v.22, p.115-129.1997.

AZEVEDO, MWC; FONTES, LAN; CARDOSO, AA; Almeida FILHO, J. Efeito de Época de plantio e de níveis de nitrogênio e fósforo, na Produção e Teor de proteína no grão de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: PROJETO Sorgo: Relatório Anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977. p.153-156. Baumhardt, RL; Howell, práticas Sementeira TA, maturidade cultivar, e efeitos de irrigação no simulado rendimento de sorgo. *Agronomy Journal* , Madison, v.98, n.3, p.462-470, abril de 2006.

BERENGUER, MJ; FACI, JM sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) rendimento processos de compensação sob diferentes densidades de plantas e água variável abastecimento. *Revista Europeia de Agronomia* , Amsterdam, v.15, n.1, p.43-55, set 2001.

BREGA FILHO, D., MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: Reúso de água; Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I; CORNEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BASQUEROTTO, C. H. C. C. **Cogeração de energia elétrica com bagaço de cana-de-açúcar compactado (briquete)**. 2010. 55 f. Graduação (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; CAMARGO, O. A.; BATAGLIA, O. C. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 685-691, 1997.

BRAATZ, S. AND, Kandiah, A. The use of municipal waste water for forest and tree irrigation. FAO, (2002).. <http://www.fao.org/docrep/w0312e/w0312e09.htm> [Accessed 22 June 2015].

BRASIL. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 2011a. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2016.

BORGONOVE, RA; Schaffert, RE; GIACOMINI, SF; TREVISAN, WL Resultados dos Ensaio Nacionais de sorgo granífero e -1975/76 1976-1977. Sete Lagoas: Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo / MBRAPA, 1979. (Boletim de Pesquisa).

CARRILLO, M. A.; STAGGENBORG, S. A.; PINEDA, J. A. **Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion**. Fuel, v.116, p.427–431, 2014.

CASTRO, F. M. R.; LOMBARDI, G. M. R.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; BRUZI, A. T. **Potencial agrônômico de genótipos de sorgo biomassa**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 9., 2014, São Paulo. Anais... Curitiba: Porths Eventos, 2014.

CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônômico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, R. A. C.; SOUZA, V. F.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E. **Análise morfoagronômica e bioquímica de um painel de sorgo energia para características relacionadas à qualidade da biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 7 p. (Circular Técnica, 190).

DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. **Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 17, p. 257-261, 1993.

DEFELIPO, B. V.; NOGUEIRA, A. V.; LOURES, E. G.; ALVAREZ, Z. V. H. **Eficiência agronômica do lodo de esgoto proveniente de uma siderúrgica.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 389-393, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **BRS 506: o sorgo sacarino mais testado e plantado no Brasil.** Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68397/1/brs-506.pdf>>. Acesso em 08 abr. 2016a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>>. Acesso em: 06 abr. 2016b.

CABRAL, G. A. DE L.; SAMPAIO, E. V. DE S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. DE. **Estrutura espacial e biomassa da parte aérea em diferentes estádios sucessionais de Caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 06, n. 03, p. 566–574, 2013.

CAMPOS, J.N.B et al. **Sobre a eficiência de pequenos e grandes reservatórios.** Disponível em: http://www.deha.ufc.Br/Nilson/trab_pub.html Acesso em 10 març. 2015.

CEARÁ. **Portaria no 154, de 22 de julho de 2002.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 02 mar. 2016.

CIFUENTES, R.; BRESSANI, R.; ROLZ, C. The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein. **Energy for Sustainable Development**, v. 21, p. 13-19, 2014. Acessado em <<http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/doc/publicacion-Cifuentes.pdf>> em 02 de ago de 2016.

CSIRO. Effluent irrigated plantations: design and management. Technical Paper No. 2 1995. Canberra.

COELHO, AM; SILVA, BG Ensaio Nacional de Sorgo Granífero em Minas Gerais. In: PROJETO Sorgo: Relatório Anual 77/79. Belo Horizonte: EPAMIG, 1981. p.71-84. Cummins, DG rendimento e qualidade muda com a maturidade do tipo de silagem O sorgo forrageiro. Agronomy Journal, Madison, v.73, n.3, p.988-990, maio / junho 1981.

CARY, LISE et al. Groundwater Salinization in a Coastal Multilayer Aquifer: Preliminary Results on Origins and Mechanisms- Example of Recife (Brazil). Procedia Earth and Planetary Science, v. 7, p. 118-122, 2013.

DANLEY, MM; VETTER, Mudanças RL em carboidrate e nitrogênio fracções e digestibilidade da forragem:. maturidade e ensilagem Journal of Animal Science , Champaign, v.37, n.4, p.994-999, outubro de 1973.

DAMASCENO, Ana Paula Alves Barreto. **Desinfecção de águas servidas através de tratamento térmico utilizando coletor solar.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. 2015.

DANTAS, Iasmine Louise de Almeida et al. Viability of using treated wastewater for the irrigation of radish (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 109-117, 2014.

DA SILVA, Rafael Rodrigues. **Avaliação sócio-ambiental do uso de efluente de esgoto tratado na irrigação de culturas no Município de Lins–SP.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. 2008.

DEPARTAMENTO OF CLIMATE CHANGE, AUSTRALIAN GOVERNMENT. Australia's Water Resources: Impacts of climate change. Disponível em: <http://www.climatechange.gov.au/climate-change/impacts.aspx>> acesso em: 11 de fevereiro de 2012.

DE ALMEIDA MARTELLI, Lilian Fernanda. Avaliação quantitativa e qualitativa da matéria orgânica de solo sob a aplicação de efluente de esgoto tratado em biodigestor anaeróbio. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DIAS, J. M. C. S. et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Brasília: Embrapa Agroenergia**, 2012.

DONATELLI, M .; HAMMER, GL; Vanderlip, RL Genótipo e água efeitos de limitação sobre a fenologia, o crescimento ea eficiência da transpiração em grão sorgo. *Crop Science* , Madison, v.32, p.781-786, Nov. / Dec.1992.

EL YOUSSEFI, L. et al. Effect of domestic treated wastewater use on three varieties of amaranth (*Amaranthus spp.*) under semi-arid conditions. **International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Marine Engineering**, v. 6, n. 2, p. 10-15, 2012.

EMBRAPA. Mudanças climáticas globais e a agricultura: Vulnerabilidade da agricultura. Disponível em: <http://www.cnpma.EMBRAPA.br/unidade/index.php3?id=242&func=pesq>> acesso em: 02 de agosto de 2015.

FAVERO, E.; DIESEL, V.A. Seca enquanto um hazard e um desastre: uma revisão teórica. *Aletheia*, v.27, n.1, p. 198-209, 2008.

FAO. Municipal recycling in forest ecosystems. In Proc. 8th World Forestry Congress. Jakarta. Rome. 1978.

FERNANDES, W. Produtividade fazer sorgo de Santa Liza. (Vulgare Sorgo, Pers) em SEIS idades e valor nutritivo das silagens . 1978. 64 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M., **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: FINEP/PROSAB, 2006. 403p.

FROEHNER, Sandro; MACENO, Marcell. Assessment of bioaccumulation of biphenyls in the trophic chain of a coastal area of Parana, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 164, n. 1-4, p. 189-198, 2010.

FOSTER, S.;HIRATA, R.; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?Le concept de vulnérabilité des aquifères à

la pollution: une aide ou un obstacle à l'enforcement de leur protection? El concepto de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación: ayuda o impedimento para promover la protección del agua subterránea? O conceito de vulnerabilidade dos aquíferos à pol. *Hydrogeology Journal*, v. 21, n. 7, p. 737-750, 2013.

FONSECA, A. F.; KERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural Use of treated sewage effluents: agronomical-environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, p. 194-209, 2007b.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

GONTIJO NETO, MM; OBEID, JA; PEREIRA, OG; CECON, ACQ; ZAGO, CP; CANDIDO, MJD; MIRANDA, LF Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivados sob níveis crescentes de adubação. Características agronômicas, carboidratos solúveis e Estruturais da planta. *Revista Brasileira de Zootecnia* , Viçosa, v.33, n.6, p.1975-1984, novembro / dez. 2004.

HAMMER, GL; GRANDES, IJ genótipo e ambiente efeitos sobre a dinâmica de índice de colheita durante o enchimento de grãos na cultura do sorgo. *Agronomy Journal* , Madison, v.95, n.1, p.199-206, janeiro / fevereiro 2003. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produtividade do sorgo. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 janeiro 2009. JONES, OR; JOHNSON, GL Avaliação de uma curta temporada. alta densidade estratégia de produção para o sorgo sequeiro . Texas: USDA-ARS, de 1997.

HIRATA, R. ; CONICELLI, B. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, v. 84, p. 297-312, 2012.

HESPANHOL, Ivanildo et al. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, Ivanildo. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

HESPANHOL, Ivanildo: Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estud. av.* [online]. 2008, vol.22, n.63, pp. 131-158. ISSN 1806-9592. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200009>.

HELLER, N. E. et al. Rainfall facilitates the spread, and time alters the impact, of the invasive Argentine ant. *Oecologia*, v. 155, p. 385–395, 2008.

HERNANDES, Amanda et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, p. 307-312, 2010. Acesso em 02/06/2015 <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000200006>.

HERNÁNDEZ, Leon. M. Las riberas del Rio Cinca en Monzón (Huesca). *Montes*: 243-247. 1977.

HUSSAR, Gilberto José et al. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbico compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA AGRICULTURA. Projeto Áridas. Disponível em: <http://www.iica.org.br/2001/projaridas/> Acesso em 10 ago. 2015.

Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. n.d. Depuración por filtro verde de las aguas residuales de la ciudad de Monzón. Monzón, Spain. 1977.

JOHNS, G. G.; MCCONCHIE, D. M. Irrigation of Bananas with Secondary Treated Sewage Effluent .2. Effect on Plant Nutrients, Additional Elements and Pesticide-Residues in Plants, Soil and Leachate.

LACERDA, F. F., DIAS, H. S., ASSAD, E. D., ASSIS, J. M. O, MOURA, M. S. B. Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco. In: Josiclêda Domiciano

Galvêncio. (Org.). Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 01-23, 2009.

LÉON SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de GHEYI, H. R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.

LONDE, Luciana de Resende et al . Water-related disasters in Brazil: perspectives and recommendations. *Ambient. soc.*, São Paulo , v. 17, n. 4, p. 133-152, Dec. 2014 . Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2014000400008&lng=en&nrm=iso. access on 17 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1082V1742014>.

LIMA, JMP; LIRA, MA; LIMA, ML; CUNHA, E .; LIMA, JGA; OLIVEIRA, JSF; CASTRO, OPCM Competição de Híbridos de sorgo granífero na chapada do Apodi nenhum Estado do Rio Grande do Norte. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. Anais ... Londrina, PR: IAPAR, 2008.

LOPES, SJ; STORCK, G .; LÚCIO, ADC; LORENTZ, LH; Lovato, C .; DIAS, VO * Tamanho de parcela para Produtividade de Grãos de sorgo granífero em Diferentes densidades de plantas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.6, p.525-530, junho 2005.

MAGALHÃES, PC; DURÃES, FOM *Ecofisiologia da Produção de sorgo*. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2003. (Comunicado Técnico, 87) MARIGUELE, KH; SILVA, PSL Avaliação dos Rendimentos de Grãos e forragem de cultivares de sorgo granífero. *Revista Caatinga*, Mossoró, RN, v.15, n.1-2, p.13-18, dez. 2002.

MASOJIDEK, J .; TRIVEDI, S .; HALSHA, WL; ALEXIOU, A .; HALL, FAZER O efeito sinérgico da seca e estresse leve em sorgo e milheto. *Fisiologia Vegetal* , Bethesda, V.96, n.1, p.198-207, janeiro 1991.

MARQUES, M. O. et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agronômicos e ambientais. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**, v. 1, p. 62-118, 2003.

MENEZES, B. S. Dinâmica espaço-temporal em um fragmento de savana decídua espinhosa, semiárido do Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal do Ceará. Depto de Biologia. 67p. 2010.

MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. **Campina Grande: INSA**, 2011.

MEIRA, JL; AZEVEDO, JT; SILVA, J .; Schaffert, RE; MURAD, SOU; CARVALHO, LJCB espaçamento e Densidade fazer sorgo granífero. Em: PROJETO Sorgo: Relatório Anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, de 1977. p.105-121.

MIRANDA, JEC; PEREIRA, JR Tipos de sorgo parágrafo silagem. Juiz de Fora: EMBRAPA 2006. (Instrução Técnica PARA O Produtor de leite, 51).

MOURA, F. N.; BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 264-276, 2011.

MOURA, M. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da.; GALVINCIO, J. D.; RIBEIRO, J, G. Variação Espacial da Precipitação e Temperatura do ar no Submédio São Francisco. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis-SC. 2006.

MONTAGNER, D .; Lovato, C .; GARCIA, CC Perdas aleatórias na População inicial é Sua Relação com o Rendimento de Grãos em sorgo. Revista Brasileira de Agrociência, Santa Maria, v.10, n.3, p.281-285, julho / set. 2004.

MOREIRA, JL; BARROS, DG; FONTES, LAN; REZENDE, J .; ANDRADE, AMS; RAFAEL, JOV; AMARAL, R .; MARTINS, MJV; CARVALHO, LJCB; AZEVEDO, JT; MELLO, JB; CARDOSO, AA; RIBAS, PR; MURAD, AM; OLIVEIRA, SG; MARIANO, R. Competição cultivares de sorgo granífero Comerciais de. In: PROJETO Sorgo: Relatório Anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977a. P.3-13.

MOLLE, F. Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. Série Brasil. SUDENE. Hidrologia. Recife, série.25, 1989.

MOREIRA, JL; AZEVEDO, JT; SILVA, J .; Schaffert, RE; CARDOSO, AA; RIBAS, PR; MURAD, AM; CARVALHO, LJC Espaço e Densidade parágrafo sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: PROJETO Sorgo: Relatório Anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977b. p.105-152.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. **Reuso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: UFCE. Centro de Tecnologia, 2007.

MOTA, Suetônio et al. Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1997. p. 20-25.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança do Clima no Semiárido do Brasil. In: Prospecção tecnológica mudança do clima. São Paulo, 2009.

MILLER, F. R.; MCBEE, G. G. Genetics and management of physiologic systems of sorghum for biomass production. **Biomass and Bioenergy**, v. 5, n. 1. p. 41-49, 1993.

MOTA, S.; BEZERRA, F. C.; TOMÉ, L. M. Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgotos tratados. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

NÓBILE, F. O. NUNES, H. D. Avaliação da produção de etanol e cogeração de energia pela cultura do sorgo sacarino. **Revista Uniara**, v. 17, n. 1, p. 89-98, 2014.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006. Cap. 11, p. 389 - 430.

NAVARRO, Ariza, M. El concepto de filtro vivo forestal en saneamiento. 269-273. 1977.

NEUMANN, M .; RESTLE, J .; BRONDANI, IL; NORBERG, LJ; MELLO, RO; PELLEGRINI, G .; SOUZA, ANM Comportamento Produtivo e Custo de Produção de Híbridos de sorgo (Sorghum bicolor, L. Moench) silagem para. Revista Brasileira de Milho e Sorgo , Sete Lagoas, v.2, n.3, p.43-54, set. / dez. 2003.

NEUMANN, MJ; RESTLE, DC; ALVES FILHO, IL; BRODANI, LG; PELLEGRINI, G .; FREITAS, AK Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de sorgo Diferentes Híbridos de (Sorghum bicolor L. Moench). Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia , Viçosa, v.31, n.1, p.293-301, janeiro / fev. 2002. Suplemento.

Nogueira, Mônica Romano de Sá. Otimização Econômica do Uso do Esgoto Tratado. Uma Análise do Transporte da Água de Reúso em Busca da Sustentabilidade.–Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. **Dissertação** (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

NOBRE, P. et al. Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI. In: Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, 2011.

NOGUEIRA, Mônica Romano de Sá. Otimização Econômica do Uso do Esgoto Tratado. Uma Análise do Transporte da Água de Reúso em Busca da Sustentabilidade.–Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

NUSSIO, LG; CAMPOS, FP de; DIAS, FN importancia da Qualidade da Porção vegetava nenhum valor alimenticio da silagem de milho. In: Simpósio SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., 2001, Maringá. Anais ... Maringá: Universidade Estadual de Maringá, de 2001. p.127-145.

OLIVEIRA, JS; FERREIRA, R. de P .; CRUZ, CD; Perreira, AV; BOTREL, M. de A .; PINHO, RGV; RODRIGUES, JAS; LOPES, FCF; MIRANDA, de JEC. Adaptabilidade e Estabilidade em das cultivares de sorgo. Revista Brasileira de Zootecnia , Viçosa, v.31, n.2, p.883-889, dez. / abr. 2002. Suplemento.

OLIVEIRA, Adriana de Fátima Mendes et al. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço/Heavy metal contents in irrigated cambisoil with domestic wastewater and well water. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 302, 2014.

OLIVEIRA, N. A. B. **O uso do sorgo biomassa para cogeração: aspectos técnicos e econômicos**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Escola de Economia de São Paulo, São Paulo, 2016.

PAULA, L. E. R. Caracterização química de resíduos lignocelulósicos visando a produção de energia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2010.

PERAZZO, Alexandre Fernandes et al . Agronomic evaluation of 32 sorghum cultivars in the Brazilian semi-arid region. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa , v. 43, n. 5, p. 232-237, May 2014 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982014000500232&lng=en&nrm=iso>. access on 19 Feb. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982014000500002>.

PERAZZO, Alexandre Fernandes et al. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PINHO, RGvon .; VASCONCELOS, RC Cultura do sorgo. Lavras: UFLA, 2002.

PINHO, RGvon .; VASCONCELOS, RC; BORGES, ID; RESENDE, AV Produtividade e Qualidade de silagem de milho e sorgo em Função da Época de semeadura. *Bragantia* , Campinas, v.66, n.2, p.235-245, julho / dez. 2007.

PORTUGAL, AF; ROCHA, VS; SILVA, AG da; PINTO, GHF; PINA FILHO, OC Fenologia de cultivares de sorgo no Período de verão e na rebrota safrinha. *Revista Ceres* , Viçosa, V.50, n.289, p.325-336, maio / junho 2003.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUAZZANII N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). *Urban Water*, London, v.4, n.4, p.373-378, 2002.

KUMAR, S. R; SHROTRIA, P. K; DESHMUKH, J. P. Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. **World Journal of Agricultural Sciences**, Pradesh, v. 4, n.6, p. 787-789, 2008.

QUIRINO, W. F; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 18 p.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 2003. 14 p.

RESENDE, A. V.; MAY, A.; SILVA, D., D.; SANTOS, F. C. **Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica**. In: MAY, A.; SILVA, D. D.; SANTOS, C. (Eds.). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 69 p. (Documentos, 152).

QUEIROZ, J. A.; TROVÃO, D. M. B. M.; OLIVEIRA, A. B.; OLIVEIRA, E. C. S. Análise da estrutura fitossociológica da Serra do Monte, Boqueirão, Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, p.251-259, 2006.

RESENDE, JA Características agronômicas, **Químicas e degradabilidade ruminal da silagem de sorgo**.2001. 53 p.Dissertação (Mestrado em Zootecnia) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, Antonio Carlos. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5**. Aproximação. Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

RODRIGUES, JAS; SANTOS, FG dos (Ed.). Sistema de Produção de sorgo . Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.EMBRAPA.br/publicacoes/sorgo/index.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

RODRIGO LOPEZ, J.; HERNANDEZ ABREU, J.M.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J.F. Riego localizado. 2.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 405p.

RUSKIN, FR culturas da África Perdeu: grãos. Washington: National Academic, 1996. 386p.

RODRIGUES FILHO, O. et al. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [**Sorghum bicolor** (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, v.7, n.1, p.37-48, 2006. Disponível em: . Acesso em: 18 fev. 2016.

ROCHA JÚNIOR, V.R. et al. Avaliação de sete genótipos de sorgo (**Sorghum bicolor** (L.) Moench) para produção de silagem: I. Padrão de fermentação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, n.5, p.506-511, 2000. Disponível em: . Acesso em: 02 jan. 2016. doi: 10.1590/S0102-09352000000500018.

SALATI, E. et al. Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI. Relatório 4, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

SARAIVA, Vanda Maria; KONIG, Annemarie. PRODUCTIVITY PURPLE-ELEPHANT-GRASS IRRIGATED WITH TREATED DOMESTIC SEWAGE IN THE SEMIARID POTIGUAR AND ITS USES. **HOLOS**, v. 29, n. 1, p. 28, 2013.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da Irrigação com efluente tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim Tiffon 85**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. Em Busca da Eco-Sócio Eficiência no Caso da Agricultura familiar Voltada para a Produção de Biodiesel no Brasil / Silvia Blajberg Schaffel. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. XV, 266 p.: il.; 29,7 cm. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/

Programa de Planejamento Energético, 2010.
http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/SilviaBlajbergSchaffel.pdf acessado em 18/07/2016.

SILVEIRA, U. A. **Efeitos dos diferentes níveis e combinações de nitrogênio e potássio no teor de óleo da semente da mamona (*Ricinus communis* L.) irrigado com esgoto sanitário tratado e água bruta.** Dissertação, UFC, 2008.

SILVA, Mozaniel Batista et al. **Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo.** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SANTOS, F. G.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E.; LIMA, J. M. P.; PITTA, G. V. E.; CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. BRS Ponta Negra variedade de sorgo forrageiro. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 6 p. (Comunicado Técnico, 145).

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, B.; PEIXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SOUZA FILHO, F.A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S. et al. (Orgs.) **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas.** Campina Grande, PB: **Instituto Nacional do Semiárido**, v. 1, n.1, p. 1-25, 2011.

SOUSA, J. T.; LEITE, V.D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura.** 1.ed. Campina Grande: EDUEP, 2002. 103p.

SANTOS, FG Cultivares de sorgo . Sete Lagoas: EMBRAPA de 2003. (Comunicado Técnico, 77).

SANTOS, FG; Castela, CR; WAQUIL, JW Melhoramento do sorgo. Em: BORÉM, A. **Melhoramento de Espécies cultivadas.** Viçosa: UFV, 2005. p.605-658. SOEST, PJ van. **ecologia nutricional de ruminantes** . 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.

SOUZA, CC; DANTAS, JP; SILVA, SM; SOUZA, VC; ALMEIDA, FA; SILVA, LE
Produtividade do sorgo granífero CV Sacarino e Qualidade de Produtos formulados
isoladamente OU Combinados Ao caldo de cana-de-Açúcar. *Ciência e Tecnologia de
Alimentos*, Campinas, v.25, n.3, p.512-517, julho / set. 2005.

SUHOGUSOFF, ALEXANDRA V. ; HIRATA, RICARDO ; FERRARI, LUIZ CARLOS K.
M. Water quality and risk assessment of dug wells: a case study for a poor community in the
city of São Paulo, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 68, p. 899-910, 2013.

SOUZA FILHO, F.A.A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação
no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S. et al. (Orgs.) *Recursos hídricos em regiões áridas
e semiáridas*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, v. 1, n.1, p. 1-25, 2011.

STICHLER, C .; CFARLAND, MM; Coffman, C. irrigado e de sequeiro produção de grãos de
sorgo sul e sudoeste Texas. *Boletim de Texas Serviço de Extensão Agrícola*, Texas, v.6048,
p. 11, atrás. 1997.

TSUNECHIRO, A .; MARIANO, RM; MARTINS, VA Produção e Preços de sorgo nenhum
estado de São Paulo, 1991-2001. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v.1, n.1,
p.15-24, janeiro / abr. 2002.

TEIXEIRA, C. G; JARDINE, J. G; ZARONE, M. H. Influência da época de corte sobre o teor
de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v.
34, n. 9, p. 1601-1606, 1999.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Efeito da seca sobre a cana
abre perspectiva para híbridos de sorgo na próxima entressafra**. Disponível em:
<[http://www.unica.com.br/na-midia/17729932920315173097/efeito-da-seca-sobre-a-cana-
abre-perspectiva-para-hibridos-de-sorgo-na-proxima-entressafra/](http://www.unica.com.br/na-midia/17729932920315173097/efeito-da-seca-sobre-a-cana-abre-perspectiva-para-hibridos-de-sorgo-na-proxima-entressafra/)>. Acesso em: 06 abr. 2016.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F. Caracterização energética e
rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira
(*Cedrelinga catenaeformis*), duke. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, 2007.

VAN OEL, P.R.; KROL, M.S; HOEKSTRA, A.Y. and TADDEI, R.R. Feedback mechanisms between water availability and water use in a semi-arid river basin: A spatially explicit multi-agent simulation approach. *Environmental Modelling & Software*, v.25, p.433–443, 2010.

VIEIRA, V.P.P.B. GT II - Recursos hídricos 2.0 - Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino. Projeto ARIDAS. 1995.

WAQUIL, JM; RAMALHO, JH Incentivo à Produção de sorgo no Norte de Minas Gerais Sete Lagoas: EMBRAPA, 2006. 27p. (Documento, 56). BRANCO, JS; Bolsen, KK; POSLER, matéria G. forragem sorghumdry desaparecimento como influenciada pela proporção parte da planta. *Ração Animal Ciência e Tecnologia*, Amsterdam, v.33, n.4, p.312-322, fevereiro de 1991. Zago, CP Cultura do sorgo Pará Produção de silagem de alto valor nutritivo. In: Simpósio SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. Anais Piracicaba: FEALQ, 1991. p.169-218.

WORRELL, William A.; VESILIND, P. Aarne; LUDWIG, Christian. *Solid Waste Engineering: A Global Perspective*. Nelson Education, 2016.

S.Vigneswaran, M.Sundaravadivel, , RECYCLE AND REUSE OF DOMESTIC WASTEWATER, in *Wastewater Recycle, Reuse, and Reclamation*, [Ed. Saravanamuthu (Vigi) Vigneswaran], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, (2004).

APÊNDICE

Tabela 1A. Resumo das análises de variância para atura de plantas da base até a folha bandeira (ALF+1), atura de plantas da base até o cacho (ALT.C), diâmetro da base do colmo (DBC) e diâmetro do meio do colmo (DMC) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios			
		ALF+1	ALT.C	DBC	DMC
Blocos	5	550,68 ^{ns}	600,98 ^{ns}	0,0189 ^{ns}	0,0213 ^{ns}
Águas (A)	2	4011,66 ^{**}	4222,17 ^{**}	0,4393 ^{**}	0,4908 ^{**}
Resíduo (a)	10	227,25	295,53	0,0154	0,0251
Cultivares (C)	2	48213,59 ^{**}	43087,30 ^{**}	0,0668 ^{ns}	0,0056 ^{ns}
A x C	4	198,23 ^{ns}	289,35 ^{ns}	0,0096 ^{ns}	0,0037 ^{ns}
Resíduo (b)	30	229,22	289,39	0,0278	0,0648
CV parcelas (%)		9,0	9,1	5,8	8,8
CV subparcelas (%)		10,2	9,0	7,8	14,1
Média geral		167,89	189,42	2,13	1,80

¹ ns, **, *: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 2A. Resumo das análises de variância da área foliar (AF), do número de folhas por planta (NFP), da matéria seca de colmo (%MSC) e da matéria seca de folhas (%MSF) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios			
		AF	NFP	%MSC	%MSF
Blocos	5	743019,51 ^{ns}	2,63 ^{ns}	65,31 ^{**}	6,48 [*]
Águas (A)	2	5245198,89 [*]	3,74 ^{ns}	146,05 ^{**}	95,47 ^{**}
Resíduo (a)	10	830236,11	1,11	4,70	1,57
Cultivares (C)	2	4718111,95 ^{**}	48,03 ^{**}	378,54 ^{**}	85,76 ^{**}
A x C	4	1041068,17 ^{ns}	0,32 ^{ns}	7,22 ^{ns}	3,72 ^{ns}
Resíduo (b)	30	665491,23	0,92	24,99	4,63
CV parcelas (%)		22,2	9,8	6,4	4,5
CV subparcelas (%)		19,9	8,9	14,6	7,7
Média geral		4102,11	10,77	34,14	28,13

¹ ns, **, *: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 3A. Resumo das análises de variância das matérias fresca e seca de folhas (MFF e MSF), matérias fresca e seca de colmo (MFC e MSC) e matérias fresca e seca vegetal total (MFVT e MSVT) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios					
		MFF (t.ha ⁻¹)	MSF (t.ha ⁻¹)	MFC (t.ha ⁻¹)	MSC (t.ha ⁻¹)	MFVT (t.ha ⁻¹)	MSVT (t.ha ⁻¹)
Blocos	5	8,61 ^{ns}	0,61 [*]	157,52 ^{ns}	55,17 ^{ns}	227,86 ^{ns}	49,89 ^{ns}
Águas (A)	2	231,45 ^{**}	18,95 ^{**}	2382,39 ^{**}	469,46 ^{**}	4004,71 ^{**}	676,62 ^{**}
Resíduo (a)	10	7,76	0,12	128,03	18,25	173,66	17,56
Cultivares (C)	2	256,92 ^{**}	27,47 ^{**}	4640,06 ^{**}	667,93 ^{**}	5537,79 ^{**}	595,99 ^{**}
A x C	4	19,81 [*]	0,88 ^{ns}	306,40 [*]	9,89 ^{ns}	382,79 [*]	16,48 ^{ns}
Resíduo (b)	30	5,21	0,52	103,95	21,06	139,07	23,26
CV _{parcelas} (%)		15,8	9,5	16,6	19,9	15,4	16,6
CV _{subparcelas} (%)		13,0	19,5	15,0	21,4	13,8	19,2
Média geral		17,62	3,70	68,01	21,49	85,63	25,18

¹ ns, **, *: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 4A – Resumo das análises de variância do desdobramento dos dados de matéria fresca de folhas (MFF), matéria fresca de colmo (MFC) e matéria fresca vegetal total (MFVT) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios		
		MFF (t.ha ⁻¹)	MFC (t.ha ⁻¹)	MFVT (t.ha ⁻¹)
<i>Águas em cultivares</i>				
Águas na cultivar IPA	2	18,00 ^{ns}	718,85 ^{**}	959,14 ^{**}
Águas na cultivar BRS 506	2	132,44 ^{**}	270,97 ^{ns}	781,09 [*]
Águas na cultivar Ponta Negra	2	120,62 ^{**}	2005,37 ^{**}	3030,07 ^{**}
Resíduo médio	(34) (37) (36)	6,06	111,97	150,60
<i>Cultivares em águas</i>				
Cultivares na água de poço	2	129,33 ^{**}	3338,71 ^{**}	3994,72 ^{**}
Cultivares na água de esgoto	2	118,60 ^{**}	976,30 ^{**}	1095,94 ^{**}
Cultivares na água em mistura	2	48,61 ^{**}	937,85 ^{**}	1212,73 ^{**}
Resíduo (b)	30	5,21	103,95	139,07

¹ ns; *, **: não significativo; significativo a 5%; e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 5A. Resumo das análises de variância do desdobramento dos dados de massa do cacho (MC), rendimento de caldo (RC) e teor de sólidos solúveis totais (TSST) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Massa do cacho (t ha ⁻¹)	Rendimento de caldo (t ha ⁻¹)	Teor de sólidos solúveis totais (°BRIX)
Blocos	5	1,03 ^{ns}	20,58 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Águas (A)	2	18,21 ^{**}	5,32 ^{ns}	1,96 ^{ns}
Resíduo (a)	10	2,38	13,20	2,02
Cultivares (C)	2	45,87 ^{**}	1023,95 ^{**}	69,92 ^{**}
A x C	4	4,14 [*]	39,22 ^{ns}	1,85 ^{ns}
Resíduo (b)	30	1,43	17,72	1,41
CV parcelas (%)		33,0	31,6	8,3
CV subparcelas (%)		25,6	36,6	6,9
Média geral		4,68	11,51	17,14

¹ ns; **; *: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 6A – Resumo da análise de variância do desdobramento de massa do cacho (MC) para três águas de irrigação e três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
		Massa do cacho (t.ha ⁻¹)
<i>Águas em cultivares</i>		
Águas na cultivar IPA	2	0,13 ^{ns}
Águas na cultivar BRS 506	2	10,41 ^{**}
Águas na cultivar Ponta Negra	2	15,95 ^{**}
Resíduo médio	33	1,75
<i>Cultivares em águas</i>		
Cultivares na água de poço	2	28,20 ^{**}
Cultivares na água de esgoto	2	22,14 ^{**}
Cultivares na água em mistura	2	3,81 ^{ns}
Resíduo (b)	30	1,43

¹ ns; *; **: não significativo; significativo a 5%; e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 7A. Resumo das análises de variância das análises de nutrientes na folha do sorgo: N - Nitrogênio (g/kg); P – Fósforo (g/kg); K – Potássio (g/kg); Ca – Cálcio (g/kg); Mg – Magnésio (g/kg); Fe – Ferro (mg/kg); Mn – Manganês (mg/kg); Zn – Zinco (mg/kg) e Cu – Cobre (mg/kg). Para três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

FV	GL	Quadrados Médios								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Blocos	5	10,72 ^{ns}	0,000009 ^{ns}	0,049 ^{**}	0,0004 ^{ns}	0,056 ^{ns}	231,90 ^{ns}	437,37 ^{ns}	3.213,85 ^{ns}	25,66 ^{ns}
Águas (A)	2	64,27 ^{**}	0,000069 [*]	0,001 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	0,330 ^{ns}	635,88 ^{ns}	52.066,72 ^{**}	2.197,18 ^{ns}	5,54 ^{ns}
Resíduo a	10	6,41	0,000014	0,007	0,0003	0,095	271,66	490,26	3.378,54	11,69
Cultivares (C)	2	64,27 ^{**}	0,000006 ^{ns}	0,045 ^{ns}	0,0167 ^{**}	0,031 ^{ns}	1.911,84 [*]	2.090,99 ^{ns}	2.055,27 ^{ns}	55,39 [*]
A x C	4	3,36 ^{ns}	0,000003 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,0014 ^{**}	0,110 [*]	905,81 ^{ns}	704,06 ^{ns}	3.349,68 ^{ns}	13,66 ^{ns}
Resíduo b	30	6,28	0,000008	0,027	0,0003	0,033	475,18	766,00	3.309,03	14,40
CV parcelas (%)		14,6	37,2	26,3	16,5	35,1	13,9	20,1	137,6	38,5
CV subparcelas (%)		14,5	27,4	52,7	15,7	20,7	18,3	25,1	136,2	42,7
Média geral		17,31	0,01	0,31	0,10	0,88	118,99	110,24	42,2	8,88

¹ ns, *, **; não significativo, significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 8A. Resumo das análises de variância das análises de nutrientes no colmo do sorgo, N - Nitrogênio (g/kg); P – Fósforo (g/kg); K – Potássio (g/kg); Ca – Cálcio (g/kg); Mg – Magnésio (g/kg); Fe – Ferro (mg/kg); Mn – Manganês (mg/kg); Zn – Zinco (mg/kg) e Cu – Cobre (mg/kg). Para três cultivares de sorgo. Mossoró-RN. 2016.¹

FV	GL	Quadrados Médios								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Blocos	5	2,58 ^{ns}	0,000092 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,0058 [*]	0,140 ^{ns}	166,91 ^{ns}	2.035,72 ^{ns}	191,99 ^{ns}	4,59 ^{ns}
Águas (A)	2	156,54 ^{**}	0,000117 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	0,050 ^{ns}	1.130,69 ^{**}	28.962,58 ^{**}	1.784,67 ^{**}	3,78 ^{ns}
Resíduo a	10	4,15	0,000114	1,43	0,0017	0,078	95,72	838,51	200,16	2,24
Cultivares (C)	2	21,40 ^{**}	0,000184 ^{ns}	5,62 ^{**}	0,0653 ^{**}	2,045 ^{**}	867,43 ^{**}	3.846,13 ^{ns}	1.649,20 ^{**}	2,51 ^{ns}
A x C	4	6,96 ^{ns}	0,000071 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	0,102 ^{ns}	296,39 ^{**}	2.586,76 ^{ns}	328,59 ^{ns}	6,02 ^{ns}
Resíduo b	30	3,19	0,000102	0,83	0,0035	0,108	61,76	2.248,59	125,77	3,85
CV parcelas (%)		18,7	128,8	13,7	40,0	43,0	40,6	36,9	54,4	32,9
CV subparcelas (%)		16,3	121,7	10,4	56,6	50,6	32,6	60,4	43,1	43,2
Média geral		10,93	0,008	8,75	0,10	0,65	24,11	78,47	26,02	4,54

¹ ns, *, **; não significativo, significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 9A. Resumo das análises de variância das análises de macro nutrientes no Solo cultivado com as cultivares de Sorgo, pH – Potencial hidrogênio (em água); – CE – Condutividade Elétrica (dS/m); MO – Matéria Orgânica (g/kg); P – Fósforo ((mg/dm³); K – Potássio (mg/dm³); Na – Sódio (mg/dm³); Ca – Cálcio (mg/dm³); Mg²⁺ – Magnésio (mg/dm³); SB – Soma de Bases (mg/dm³); CTC Capacidade de Troca de Cátions (mg/dm³); PST – Porcentagem de Sódio Trocáveis (%). Mossoró-RN. 2016.¹

FV	GL	Quadrados Médios										
		pH	CE	MO	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Ma ²⁺	SB	CTC	PST
Blocos	5	0,35 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,10 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1.943,33 ^{ns}	662,45 ^{ns}	1,06 ^{**}	1,31 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,08 ^{ns}	7,81 ^{ns}
Águas (A)	2	0,06 ^{ns}	0,12 [*]	0,70 ^{ns}	0,82 ^{ns}	394,80 ^{ns}	5.392,18 [*]	0,28 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}	38,24 ^{ns}
Resíduo a	10	0,11	0,02	1,34	3,24	589,51	1.093,74	0,13	0,75	2,93	2,93	12,39
Cultivares (C)	2	0,18 ^{ns}	0,03 [*]	5,97 ^{ns}	2,28 ^{ns}	1.759,81 ^{ns}	1.810,14 [*]	0,29 ^{ns}	4,80 ^{**}	8,54 [*]	8,54 ^{**}	6,02 ^{ns}
A x C	4	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,53 ^{ns}	8,86 ^{**}	388,01 ^{ns}	1.585,99 ^{**}	0,12 ^{ns}	1,57 [*]	0,69 ^{ns}	0,69 ^{ns}	5,07 ^{ns}
Resíduo b	30	0,09	0,01	3,08	1,49	719,32	339,04	0,26	0,55	1,75	1,75	4,19
CV parcelas (%)		4,7	29,8	19,2	42,9	25,1	79,2	13,2	39,3	33,4	33,4	101,5
CV subparcelas (%)		4,3	18,5	29,1	29,1	27,8	44,8	18,9	33,6	25,8	25,8	59,0
Média geral		7,04	0,45	6,03	4,19	96,67	41,75	2,73	2,20	5,13	5,13	3,47

¹ ns, *, **; não significativo, significativo a 5% e significativo a 1%, respectivamente, pelo Teste F.