



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
NÍVEL MESTRADO



DANIEL BRONDANI ILHA

SUSTENTABILIDADE NOS ESTABELECIMENTOS PRODUTORES DE MILHO
NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO – CARIRA/SE

SÃO CRISTÓVÃO

2020

DANIEL BRONDANI ILHA

**SUSTENTABILIDADE NOS ESTABELECIMENTOS PRODUTORES DE MILHO
NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO – CARIRA/SE**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal de Sergipe.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alceu Pedrotti

SÃO CRISTÓVÃO

2020

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Ilha, Daniel Brondani
I27s Sustentabilidade nos estabelecimentos produtores de milho na
microbacia do rio Socavão - Carira/SE / Daniel Brondani Ilha ;
orientador Alceu Pedrotti. – São Cristóvão, SE, 2020.
169 f. : il.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio
Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2020.

1. Solos - Manejos. 2. Regiões áridas. 3. Milho - Cultivo -
Sergipe. 4. Impacto ambiental. 5. Sustentabilidade e meio
ambiente. I. Pedrotti, Alceu, orient. II. Título.

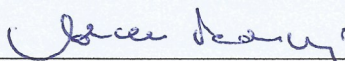
CDU 502.131.1:633.15(813.7)

DANIEL BRONDANI ILHA

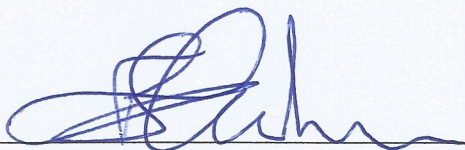
**SUSTENTABILIDADE NOS ESTABELECIMENTOS PRODUTORES DE MILHO
NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO – CARIRA/SE**

Dissertação apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal de Sergipe.

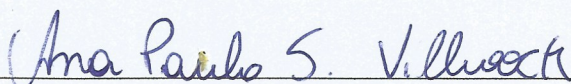
Aprovada em 19 de fevereiro de 2020.



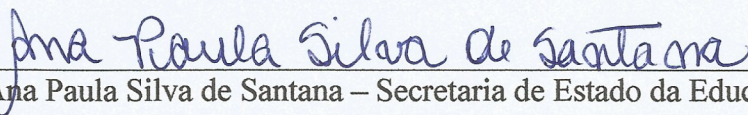
Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Universidade Federal de Sergipe
Presidente orientador



Prof. Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda - Universidade Federal de Sergipe
Examinador Externo

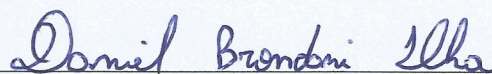


Prof. Dra. Ana Paula Schervinski Villwock - Universidade Federal de Sergipe
Examinador Externo

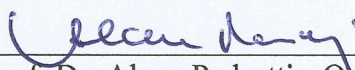


Dra. Ana Paula Silva de Santana – Secretaria de Estado da Educação de Sergipe
Examinador Externo

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar ou vender tais cópias.

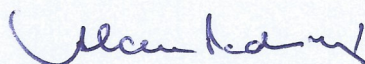


Daniel Brondani Ilha
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS



Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA e DEA
Universidade Federal de Sergipe – UFS

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA e DEA-UFS
Universidade Federal de Sergipe

Dedico este trabalho a minha família!

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio na pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente e a Universidade Federal de Sergipe, pela oportunidade de concluir o curso.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis que me concedeu licença capacitação para a conclusão da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alceu Pedrotti pelo suporte, dedicação e auxílio para que o trabalho obtivesse os melhores resultados possíveis.

Aos produtores rurais de Carira que me receberam muito bem, sem eles essa pesquisa não seria possível.

Aos meus pais, Arthur e Maria Cleci que sempre incentivaram minha educação.

A minha esposa Ingrid e a minha filha Valentina pela compreensão e apoio nos momentos difíceis.

Aos colegas Lucas e Tonhão que contribuíram com as atividades de campo.

A todos professores que auxiliaram minha formação acadêmica.

Aos demais que durante o desenvolvimento deste trabalho me apoiaram e contribuíram para a sua realização.

Agradeço a todos (as), muito obrigado!

*“O Homem é parte da natureza e a sua guerra
contra a natureza é, inevitavelmente, uma
guerra contra si mesmo.”*

Rachel Carson

RESUMO

Nas últimas décadas a região oeste do estado de Sergipe transformou-se em importante polo produtor de milho em regime sequeiro, com destaque para os municípios de Simão Dias e Carira. A atividade trouxe benefícios para a economia por elevar a renda no campo e manter ocupada mão de obra na zona rural. A produção elevou-se de modo significativo a partir de 2008, porém o cultivo tem se mostrado vulnerável às restrições edafoclimáticas intrínsecas do semiárido de Sergipe, associadas a altas taxas de evaporação, elevadas temperaturas, irregularidade espaço-temporal na distribuição das chuvas, solos com relativa baixa profundidade efetiva e elevada susceptibilidade a erosão. O emprego de práticas não conservacionistas de manejo do solo e o uso de pacotes tecnológicos alheios às questões regionais, podem estar agravando a vulnerabilidade da exploração da cultura do milho ao clima da região. Além de gerar degradação ambiental e instabilidade na produção, que tem apresentado significativa variabilidade de rendimento nas últimas safras, o que influencia no grau de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o nível de sustentabilidade de estabelecimentos rurais produtores de milho na microbacia do rio Socavão, em Carira, estado de Sergipe, bem como identificar aspectos limitantes à sustentabilidade da monocultura do milho. A presente pesquisa fundamenta-se na hipótese de que a exploração da monocultura do milho contribui para a redução da sustentabilidade dos estabelecimentos rurais. A pesquisa apresenta abordagem quali-quantitativa, tendo caráter exploratório-descritivo com levantamento bibliográfico documental e coleta de dados em campo. Para avaliar o nível de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais foi utilizado o método de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades Rurais (APOIA-NovoRural), que engloba cinco dimensões de sustentabilidade: Ecologia da paisagem, Qualidade ambiental (atmosfera, água e solo), Valores socioculturais, Valores econômicos e Gestão e administração. A aplicação do método exigiu análises físico-químicas da água e solo, observações e ensaios *in loco*, além da aplicação de questionário. Como resultado, foi constatado baixos índices de sustentabilidade nos estabelecimentos rurais avaliados. As dimensões mais limitantes referem-se a Ecologia da paisagem e a Gestão e a administração. Ademais, a carência de assistência técnica, baixa diversidade produtiva, irregularidade espaço temporal das chuvas, ocorrência de solos rasos e pedregosos com relativa baixa profundidade efetiva simultaneamente a adoção de práticas não conservacionistas de manejo do solo restringem a sustentabilidade da exploração da cultura do milho, bem como comprometem a qualidade dos recursos naturais para as gerações futuras.

Palavras-Chave: Manejo do solo. Semiárido. Impacto ambiental.

ABSTRACT

In recent decades the western region of the state of Sergipe has become an important corn producing hub non-irrigated conditions, especially municipalities of Simão Dias and Carira. The activity has brought benefits to the local economy by increasing the income in the countryside and keeping busy manpower in rural area. Production has increased significantly from 2008, however, cultivation has been shown to be vulnerable to intrinsic edaphoclimatic restrictions of the semi-arid region of Sergipe, associated with high evaporation rates, high temperatures, irregularity space-temporal in rainfall, soils with low relatively depth effective and high susceptibility to erosion. The use of inadequate soil management practices and the use of technologies unrelated to regional issues may be aggravating the cultivation vulnerability to the region's climate. In addition to generating environmental degradation and instability in production, which has shown significant yield variability in the last harvests, which influences the sustainability degree rural establishments. Thus, the present study evaluated the level of sustainability of corn-producing rural establishments in the Socavão river micro watershed, in Carira municipality, Sergipe state and identify limiting aspects for the exploitation of corn culture. Specifically, this study tested the hypothesis that intensive exploitation of maize crop contributes to the reduction of the sustainability level in agricultural establishments. The research has a qualitative and quantitative approach, having an exploratory-descriptive character with documentary bibliographic survey and data collection in the field. To assess the level of sustainability, the Environmental Impact Assessment System of Rural Activities (APOIA-NovoRural) was used, what encompassing five sustainability dimensions: Landscape Ecology, Environmental Quality (Atmosphere, Water and Soil), Sociocultural Values, Economic Values and Management and Administration. This method required physical and chemical analyzes of water and soil, observations and tests in study area and application of a questionnaire with local farmers. As a result, low sustainability rates were observed in the rural establishments evaluated. The most restrictive dimensions that condition lower levels of sustainability of the rural establishments evaluated refer to the Ecology of the landscape and the Management and rural administration. Moreover, the lack of technical assistance, low productive diversity, space-temporal irregularity in rainfall distribution, occurrence of shallow and stony soils with low relatively depth effective simultaneously the adoption of practices soil management non-conservationist offer restrictions the sustainability of exploration of corn crop, as well as compromising the quality of natural resources for future generations.

Keywords: Soil management. Semiarid. Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da microbacia do rio Socavão no município de Carira, Sergipe.....	78
Figura 2.2 – Índices de desempenho ambiental nas cinco dimensões e nos componentes ambientais avaliados, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.	106
Figura 3.1 – Interação entre a produção de milho e a precipitação anual no município de Carira entre 2003 e 2018.....	129
Figura 3.2– Balanço hídrico sequencial no município de Carira entre os anos de 2011 e 2019.	130
Figura 3.3– Interação entre precipitação anual e valores de NDVI da cultura do milho nas safras de 2012, 2014, 2016 e 2018.....	131
Figura 3.4– Resultados médios de Resistência Mecânica do solo à Penetração (MPa) ao longo do perfil do solo com cultivo de milho em sistema convencional na microbacia do rio Socavão, considerando cinco repetições.	134
Figura 3.5 – Valores médios de Densidade do solo ao longo do perfil do solo com cultivo de milho em sistema convencional na microbacia do rio Socavão, nas profundidades médias de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.	135
Figura 3.6 – Acumulação de sais em planície de inundação (a) e (b) e evidências de erosão hídrica (c) na microbacia do rio Socavão em Carira/SE.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Ecologia da paisagem, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.....	85
Quadro 2.2 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – atmosfera, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.	89
Quadro 2.3 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – água, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.	91
Quadro 2.4 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – solo, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.	95
Quadro 2.5 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Valores socioculturais, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.....	98
Quadro 2.6 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Valores econômicos, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.....	100
Quadro 2.7 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Gestão e administração, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.....	104
Quadro 3.1 – Valores médios do índice de vegetação NDVI entre os meses de junho e setembro, nas safras de 2012, 2014, 2016 e 2018, na microbacia do rio Socavão, em Carira/SE.	131
Quadro 3.2 – Valores médios do índice de vegetação NDVI do mês de junho nas safras de 2008 a 2019, na microbacia do rio Socavão, em Carira/SE.	132

LISTA DE SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
APOIA	Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental
BCB	Banco Central do Brasil
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CIB	Conselho de Informação sobre Biotecnologia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
DBO	Demanda Química por Oxigênio
Ds	Densidade do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMDAGRO	Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe
FAO	Org. das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OD	Oxigênio Dissolvido
PIB	Produto Interno Bruto
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PRONAMP	Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural
RMP	Resistência Mecânica do solo à Penetração
RR	Roundup Ready™

SATVeg	Sistema de Análise Temporal da Vegetação
SB	Soma de bases trocáveis de um do solo
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.
ZARC	Zoneamento Agrícola de Risco Climático

LISTA DE SÍMBOLOS

kg/ha^{-1}	Quilograma por hectare
%	Percentual
ha	Hectare
mm	Milímetro
cm	Centímetro
N_2O	Óxido Nitroso
NO_3^-	Nitrato
PO_4^{3-}	Fósforo Reativo ou Ortofosfato
P	Fósforo
NH_3	Amônia
NH_4^+	Amônio
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
CO_2	Dióxido de carbono
CH_4	Metano
Bsh	Clima semiárido quente
As	Clima tropical com estação seca de verão
‰	Partes por mil
dS.m^{-1}	Decisiemens por metro
mg.L^{-1}	Miligramma por litro
mL	Mililitro
UFC.100mL^{-1}	Unidades Formadoras de Colônias por 100 mililitros
pH	Potencial hidrogeniônico
$\mu\text{g.L}^{-1}$	Microgramma por litro
O_2	Oxigênio
mg	Miligramma
dag/kg^{-1}	Decagrama por quilograma
Al^{3+}	Alumínio trocável (acidez trocável)
$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$	Centimolc por decímetro cúbico
H + Al	Acidez potencial
V	Índice de Saturação por Bases
mg.dm^{-3}	Miligramma por decímetro cúbico
K^+	Potássio trocável

Mg^{2+}	Magnésio trocável
Ca^{2+}	Cálcio trocável
t/ha^{-1}	Toneladas por hectare
km	Quilômetro
cm	Centímetro
Al	Alumínio
m	Saturação por Alumínio
MPa	Mega pascal
g/cm^{-3}	Gramas por centímetro cúbico
mm/h	Milímetro por hora
L	Litro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	20
1	SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NO SEMIÁRIDO DE SERGIPE	24
1.1	Introdução	24
1.2	Abordagem sistêmica sobre a cultura do milho	25
1.2.1	A produção de milho no semiárido sergipano	25
1.2.2	Interações entre o clima, solo e o cultivo de milho	31
1.2.3	Impactos ambientais associados a agricultura intensiva	34
1.2.4	Sistemas de manejo do solo e tecnologias utilizadas no cultivo de milho	37
1.2.5	Indicadores ambientais de qualidade do solo e da água	42
1.2.6	Gestão e administração de atividades agrícolas	46
1.2.7	Sustentabilidade de atividades agrícolas e métodos avaliativos	48
1.2.8	Ferramentas de geoprocessamento aplicadas no monitoramento agrícola	53
1.3	Considerações finais	57
	Referências	60
2	SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO, EM CARIRA-SE	75
2.1	Introdução	76
2.2	Material e métodos	78
2.2.1	Caracterização da área de estudo	79
2.2.2	Universo da pesquisa e seleção dos estabelecimentos rurais	80
2.2.3	Indicadores de sustentabilidade	82
2.3	Resultados e discussão	84
2.3.1	Dimensão Ecologia da paisagem	84
2.3.2	Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais	88
2.3.3	Dimensão Valores Socioculturais	98
2.3.4	Dimensão Valores Econômicos	100
2.3.5	Dimensão Gestão e Administração	104
2.3.6	Índice de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais	106
2.4	Conclusões	108
2.5	Recomendações	110
	Referências	110
3	LIMITAÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS À SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO, EM CARIRA-SE	121
3.1	Introdução	122

3.2	Material e métodos	124
3.2.1	Caracterização da área do estudo	124
3.2.2	Dados climáticos e de produção agrícola	125
3.2.3	Fatores edáficos	126
3.3	Resultados e discussão.....	127
3.4	Conclusões	141
	Referências	143
4	CONCLUSÃO GERAL	151
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	154
	APÊNDICE B – DIMENSÕES E INDICADORES DO SISTEMA APOIA-NOVORURAL.....	157
	APÊNDICE C – ANÁLISES QUÍMICAS DA ÁGUA.....	158
	APÊNDICE D – ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	162

INTRODUÇÃO GERAL

No Estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, a exploração da cultura do milho (*Zea mays* L.) expandiu significativamente nas últimas décadas, sobretudo a partir de 2008, alcançando destaque na economia do Estado por elevar a renda no campo e manter ocupada a mão de obra na zona rural. Tal expansão ocorreu devido a incorporação de novas tecnologias, como o plantio de sementes melhoradas (híbridos convencionais e transgênicos) e o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, que combinado a intensificação da mecanização agrícola elevaram a produtividade das lavouras (PRATA, 2013; SILVA *et al.* 2019a; SILVA *et al.*, 2019b).

A maior parte da produção advém de municípios localizados no semiárido de Sergipe, que realizam o cultivo do milho em regime sequeiro, tendo como expoentes os municípios situados no oeste do estado, como Carira e Simão Dias, que historicamente se destacam na produção de milho (PRATA, 2013; CUNHA, 2014; SILVA *et al.*, 2019b), tanto em quantidade produzida como em área cultivada (IBGE, 2019a).

A área cultivada apresentou crescimento expressivo no município de Carira entre os anos de 2005 a 2011, sendo registrado um acréscimo de 30.000 hectares (IBGE, 2019a). A ocorrência de preços atrativos motivados por uma maior demanda na própria região, bem como pela demanda crescente da indústria de aves e suínos instalada em estados vizinhos, instigou a expansão da produção de milho no município, fazendo com que novas áreas fossem incorporadas para a atividade (PRATA, 2013).

De acordo com Leivas *et al.* (2014) a produção de milho em Carira atingiu seu ápice em 2010, porém, em 2012, houve uma queda abrupta na produção em razão da baixa precipitação pluviométrica ocorrida naquele ano. Esse fenômeno se repetiu nos anos de 2016 e 2018, implicando em redução da produção (IBGE, 2019a). Essas oscilações na produção do milho indicam relação da cultura com o clima da região, caracterizado por apresentar irregularidade espacial e temporal na distribuição das chuvas, além de apresentar altas taxas de evapotranspiração e temperaturas elevadas (MARENGO *et al.*, 2011).

A produtividade agrícola não está associada somente às condições edafoclimáticas em que as plantas estão submetidas, mas também aos tratos culturais e ao manejo do solo (PEDROTTI; MELLO JUNIOR, 2009). As práticas inadequadas de manejo do solo podem suscitar dúvidas sobre a eficiência do pacote tecnológico utilizado na sua exploração, considerando que a simplificação dos sistemas agrícolas por meio de monoculturas altamente mecanizadas, com emprego intensivo de insumos genéticos e químicos exógenos ao sistema,

tem tornando a agricultura mais susceptível a fatores externos desestabilizadores (VEIGA; EHLERS, 2003), sobretudo, em ambientes sensíveis como o semiárido sergipano, devido à baixa capacidade regenerativa dos solos (SOUSA *et al.*, 2012).

Arelado à agricultura intensiva realizada de forma convencional há uma série de impactos negativos ao meio ambiente, como a degradação dos solos, a perda de biodiversidade, a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (POSSENTI *et al.*, 2007; BITTENCOURT, 2009). Práticas inadequadas de manejo do solo podem causar degradação e desertificação, interferindo negativamente no potencial produtivo da agricultura e consequentemente na qualidade de vida da população (SAMPAIO; SALCEDO, 1997; COSTA *et al.*, 2009).

Apesar da cultura de milho proporcionar uma maior renda aos agricultores do semiárido de Sergipe, o modelo utilizado na exploração da cultura tem apresentado limitações no tocante à conservação dos recursos naturais (SILVA, 2016). Práticas conservacionistas de manejo do solo não são adotadas em 70% dos estabelecimentos rurais de Carira (IBGE, 2019b), o que torna os solos mais susceptíveis a compactação e ao surgimento de processos erosivos (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005). Além disso, há um risco potencial de contaminação das águas e do solo em função do uso de fertilizantes químicos e pesticidas, que geralmente são aplicados sem receituário agrônomo (SILVA, 2015), o que compromete a sustentabilidade da atividade a médio e longo prazo.

A sustentabilidade da agricultura não deriva apenas de questões ambientais, mas também de aspectos sociais e econômicos. A sustentabilidade na agricultura pode ser considerada como a capacidade de gerenciar riscos sem comprometer o bem-estar humano e ecossistêmico ao longo do tempo (PINTÉR, 2007). Logo, a sustentabilidade da produção da cultura do milho perpassa pela garantia de dignidade da vida dos agricultores, com reflexos nas melhorias ambientais, redução de perdas, aumento na eficiência dos insumos, otimização dos recursos naturais, com reflexos na manutenção da resiliência dos ecossistemas naturais (NASCIMENTO, 2012; COSTA, 2010b; MÜLLER, 1996). Isto aparentemente não vem ocorrendo no semiárido de Sergipe, tampouco no município de Carira, devido as constantes oscilações de produtividade (IBGE, 2019a), que afetam a renda e a qualidade de vida dos agricultores, aos impactos ambientais causados pela exploração da cultura (SILVA, 2016) e pelo viés de exclusão dos agricultores familiares do sistema produtivo (SANTANA, 2019) pelas características intrínsecas da monocultura do milho, que exige uma maior escala de produção para a diluição dos custos de produção e maior aporte de capital financeiro (OLIVEIRA, 2011).

A avaliação da sustentabilidade em ecossistemas agrícolas permite identificar aspectos limitantes ao desenvolvimento sustentável, bem como propor medidas para mitigar os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente, bem como promover o bom desempenho social e econômico a partir de condutas mais sustentáveis (SANTANA, 2019). Para tanto, é necessário um olhar sistêmico, incorporando aspectos ambientais, sociais e econômicos (MÜLLER, 1996; COSTA, 2010a), para que os processos produtivos sejam gerenciados e interligados de forma lógica, integrando os recursos naturais e humanos com tecnologias e sistemas de cultivo ambientalmente corretos e produtivamente eficientes, objetivando a elevação do nível de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais (PACHECO *et al.*, 2016).

Considerando a importância econômica da exploração da cultura do milho para o município de Carira, a baixa diversidade tecnológica envolvida na sua produção, os impactos ambientais causados pela atividade e as restrições edafoclimáticas do semiárido, o problema fundamental a ser elucidado nesta pesquisa é formulado através da seguinte indagação: A exploração da monocultura do milho em regime sequeiro é capaz de garantir níveis elevados de sustentabilidade (ambiental, social e econômica) aos estabelecimentos rurais envolvidos com a sua produção a fim de atender as necessidades das gerações presentes e futuras?

Este trabalho fundamenta-se na hipótese de que a exploração da monocultura do milho contribui para a redução do nível de sustentabilidade dos estabelecimentos agrícolas em decorrência dos impactos causados aos recursos naturais e pela sua vulnerabilidade a fatores edafoclimáticos.

Com isto, o objetivo geral deste presente trabalho foi avaliar o nível de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais envolvidos com a exploração da monocultura do milho localizados na microbacia do rio Socavão, no município de Carira, estado de Sergipe. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar o desempenho ambiental de estabelecimentos rurais por meio do sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades Rurais (APOIA-NovoRural); (ii) avaliar impactos ambientais e socioeconômicos da exploração da cultura de milho; (iii) identificar aspectos limitantes à sustentabilidade da exploração da monocultura do milho na microbacia do rio Socavão, em Carira.

A presente dissertação está organizada em três capítulos. O primeiro capítulo aborda o processo de modernização da exploração da cultura do milho no semiárido de Sergipe e seus impasses na sustentabilidade a partir da abordagem sistêmica. O segundo capítulo analisa os níveis de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais envolvidos na exploração da cultura do

milho em regime sequeiro na microbacia do rio Socavão, no município de Carira, utilizando o método de avaliação APOIA-NovoRural. Para finalizar, o terceiro capítulo analisa os fatores potenciais e limitantes à sustentabilidade da cultura do milho na microbacia do rio Socavão, com ênfase nos fatores edafoclimáticos.

1 SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NO SEMIÁRIDO DE SERGIPE

1.1 Introdução

Nas últimas décadas ocorreram profundas alterações na conjuntura agrícola do semiárido sergipano, sobretudo na região oeste do estado. Essa região transformou-se em importante polo produtor de milho, deixando de ser considerada uma região estéril, até então, caracterizada pela pecuária extensiva e por uma agricultura de subsistência, com reduzida capacidade produtiva (SANTOS, 2012; PRATA, 2013; CUNHA, 2014; SILVA *et al.*, 2019b).

O cenário agrícola da região oeste de Sergipe alterou-se rapidamente com a incorporação de novas tecnologias à produção da cultura do milho, que elevaram a produtividade das lavouras. O pacote tecnológico introduzido sustenta-se no uso de sementes resultantes de melhoramento genético (híbridos convencionais e transgênicos) e na aplicação intensiva de fertilizantes e defensivos químicos. Além disso, a modernização e a ampliação da frota de máquinas e implementos agrícolas permitiram a expansão da monocultura do milho por extensas áreas, elevando a escala de produção (PRATA, 2013), trazendo esperança de maior renda e de melhoria da qualidade de vida ao sertanejo. Porém, os agricultores familiares tendem a ser excluídos do agronegócio do milho em Sergipe (SANTANA, 2019) pela atividade exigir elevado aporte de capital financeiro e grande escala de plantio para reduzir os custos de produção (OLIVEIRA, 2011).

O novo modelo de exploração da cultura do milho, importado de outras regiões agrícolas do país, tem se mostrado vulnerável às especificidades climáticas e edáficas do semiárido sergipano, caracterizadas pela presença de solos jovens, pouco intemperizados e com reduzida profundidade efetiva (JACOMINE *et al.*, 1975) e, especialmente, por um regime hídrico que apresenta baixa precipitação pluviométrica, elevadas taxas de evaporação e irregularidade espaço-temporal na distribuição das chuvas (MARENGO *et al.*, 2011). Como consequência, observa-se uma crescente simplificação dos processos produtivos no semiárido, reduzindo a diversidade da produção e elevando a dependência financeira do produtor a um único produto, o milho (CUENCA; DOMPIERI; SANTOS, 2016). Além disso, gera inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, acentuados pela adoção de práticas agrícolas não conservacionistas, como o plantio morro abaixo e o preparo convencional do solo através da passagem recorrente de grades pesadas, que em condições desfavoráveis de umidade compacta ou pulveriza o solo excessivamente. A pulverização do solo desagrega sua estrutura, sobretudo,

nas camadas mais superficiais, que possuem maior interesse econômico por serem mais férteis (NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI, 2016), elevando a susceptibilidade dos solos à erosão (LEPSCH, 2010).

A produção de milho no semiárido sergipano apresenta singularidades importantes em relação aos principais polos produtores de milho no país, especialmente pelas peculiaridades edafoclimáticas da região, que condicionam a obtenção de uma única safra anual. Além disso, os resíduos culturais são rapidamente decompostos devido às elevadas temperaturas típicas da região, diminuindo drasticamente a cobertura do solo após a colheita (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017). A destinação dos resíduos culturais à alimentação animal após a colheita, prática comum no semiárido sergipano (SANTOS, 2012), favorece a exposição do solo à radiação solar, acelerando a oxidação da matéria orgânica, além de torná-lo mais suscetível a ação de agentes erosivos (vento e chuvas). Tais práticas ocasionam a perda de solos férteis e o assoreamento de mananciais (LEPSCH, 2010).

No semiárido ainda é incipiente a adoção de práticas conservacionistas do solo (NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI, 2016). A inobservância de boas práticas agronômicas de manejo do solo e o uso indiscriminado de produtos químicos (fertilizantes e defensivos químicos) impactam sobre a qualidade dos recursos naturais e, também, sobre o rendimento das lavouras. Logo, a sustentabilidade da atividade fica comprometida ao não garantir a conservação dos recursos naturais, tampouco a manutenção da produtividade e a estabilidade da produção a médio e longo prazo.

Neste contexto, são apresentados neste capítulo, princípios à sustentabilidade da exploração da cultura do milho em regime sequeiro no semiárido de Sergipe, a partir da análise sistêmica, englobando às principais atividades envolvidas no sistema produtivo, além de métodos para o monitoramento e avaliação da sustentabilidade de atividades agrícolas.

1.2 Abordagem sistêmica sobre a cultura do milho

1.2.1 A produção de milho no semiárido sergipano

O milho (*Zea mays* L.) apesar de não ser um cereal nativo do Brasil é amplamente cultivado no país, devido a sua grande capacidade de se adaptar a diferentes condições

ambientais e pelo seu alto valor nutricional, tanto para alimentação humana como animal (CIB, 2010; MAPA, 2019).

A adaptabilidade do milho é oriunda de um processo de melhoramento genético, que teve início nos primórdios do Século XX. O desenvolvimento de linhagens puras, oriundas do processo de autofecundação por várias gerações, e do vigor híbrido, resultante do cruzamento destas linhagens, permitiu a introdução de novas características ao milho, melhorando sua qualidade nutricional, além de torná-lo mais vigoroso e resistente a doenças e pragas (CIB, 2010).

Nas últimas décadas, a biotecnologia foi introduzida aos programas convencionais de melhoramento genético, permitindo a transferência de genes específicos entre espécies sexualmente incompatíveis (transgenia). A incorporação de novas características, exógenas a espécie, vem proporcionando ao milho tolerância a herbicidas e maior controle sobre insetos e fungos, elevando a produtividade da cultura (CIB, 2010).

O Brasil juntamente com os Estados Unidos e a China são os maiores produtores de milho do mundo (CIB, 2010). O Brasil produziu cerca de 81 milhões de toneladas na safra de 2017/2018, sendo que 90% da produção nacional está concentrada na região Centro-Sul do país (CONAB, 2018).

Na região Nordeste, a produção é maior nos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Sergipe, que responderam na safra de 2016/2017, respectivamente, por cerca de 30%, 29%, 21% e 12% do milho produzido no Nordeste (CONAB, 2018).

Em Sergipe, a exploração de milho expandiu-se significativamente nas últimas décadas, alcançando destaque e importância na economia do estado, por se constituir em excelente alternativa econômica para aumento da renda no campo, bem como fonte de ocupação de mão de obra no meio rural (PRATA, 2013).

Entre os anos de 2003 a 2017, a produção de milho em Sergipe passou de 86.595 toneladas para 843.762 toneladas, ou seja, um acréscimo de 874% em 14 anos. A maior parte da produção está concentrada no semiárido de Sergipe¹, considerando que mais de 90% da área destinada à cultura localiza-se nesta região (IBGE, 2019a), com destaque para os municípios

¹ Os municípios sergipanos inseridos no semiárido Brasileiro estão elencados nas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017, por se adequarem a pelo menos um dos três critérios: i) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; ii) Índice de Aridez de *Thorntwaite* igual ou inferior a 0,50; iii) Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2018).

situados no oeste sergipano, como Carira e Simão Dias, historicamente os maiores produtores do Estado (PRATA, 2013; SILVA *et al.*, 2019b), tanto em área plantada quanto em quantidade produzida. Em 2017, estes municípios foram responsáveis por 38% do montante produzido em Sergipe (IBGE, 2019a).

O crescimento da produção de milho ocorrido em Sergipe decorre principalmente do aumento da produtividade, devido a modificações no sistema de produção, com predomínio da monocultura, além da incorporação de novas tecnologias, como o uso de sementes melhoradas (híbridos convencionais e transgênicos) (PRATA, 2013). Em Carira, a produtividade atingiu a média de 5.940 kg/ha⁻¹ em 2008, enquanto não alcançava 900 kg/ha⁻¹ em 2007 (CUNHA, 2014; IBGE, 2019a).

A elevação do nível tecnológico empregado nas lavouras pode estar associada aos preços pagos aos agricultores nas últimas safras. O milho produzido em Sergipe é colhido numa época que coincide com o plantio da primeira safra nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, enquanto na segunda safra, o elevado preço do transporte inibe a entrada de milho de outras regiões, garantindo uma boa estabilidade ao preço do milho nordestino (PACHECO *et al.*, 2016).

A mecanização agrícola também contribuiu para o aumento da produção de milho no Estado (PRATA, 2013), bem como a maior oferta de crédito agrícola amparada no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (SILVA *et al.*, 2019b). Em Carira, foram liberados cerca de R\$ 45 milhões para o custeio da safra de 2019, enquanto em 2012 o montante liberado não atingiu R\$ 17 milhões. Dos 519 contratos de crédito firmados em 2019, 85% derivam de programas governamentais. Através do PRONAF² foram firmados 330 contratos, totalizando aproximadamente R\$ 15 milhões, e pelo PRONAMP³ foram liberados mais R\$ 16 milhões, tendo como beneficiários 109 produtores rurais (BCB, 2019). Estima-se a partir de um custo operacional total de R\$ 1.550,00 por ha (SANTANA, 2019), que poderiam ser cultivados cerca de 29 mil hectares de milho com o montante de crédito liberado na safra de 2018 (BCB, 2019), o que corresponderia a área total cultivada com milho em Carira, na respectiva safra (IBGE,

² Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar instituído por meio do Decreto nº 1.946, de 28 de junho de 1996, tendo como beneficiário agricultor familiar que: i) não possua área maior do que quatro módulos fiscais; ii) utilize predominantemente mão-de-obra da família na propriedade; iii) possua, pelo menos, 50% da renda familiar proveniente da atividade agropecuária oriunda do seu estabelecimento; iv) possua renda bruta anual de até R\$ 360 mil (BRINKER, 2019).

³ Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural, tendo como finalidade propiciar o fortalecimento das atividades agropecuárias dos médios produtores rurais, pessoas físicas e jurídicas com renda bruta anual de até R\$ 2 milhões (BRINKER, 2019).

2019a). Estes valores denotam a importância das políticas públicas no fomento e manutenção das atividades agrícolas no município de Carira.

A aquisição de tratores, colheitadeiras e demais máquinas e implementos agrícolas também foi incentivada pelas instituições de crédito, que liberaram cerca de R\$ 24 milhões entre os anos de 2013 e 2019 (BCB, 2019), o que contribuiu para ampliação da frota agrícola do município de Carira, considerando que 213 estabelecimentos agropecuários possuem tratores agrícolas, 160 dispõem de semeadeiras e 55 possuem colheitadeiras (IBGE, 2019b).

A ocorrência de preços atrativos aos produtores, motivado por uma maior demanda na própria região, principalmente da bovinocultura leiteira e pela crescente procura da indústria de aves e suínos instalada em estados vizinhos, instigou a expansão da produção de milho em Sergipe, fazendo com que novas áreas fossem incorporadas à atividade (PRATA, 2013).

No município de Carira, a área cultivada com milho disparou entre os anos de 2005 a 2011, sendo registrado, nesse período, um acréscimo de 30.000 hectares na área plantada. Em 2011, a área destinada ao cultivo de milho atingiu 45.000 hectares, o que equivale a 71% do seu território. Tal incremento foi motivado aparentemente pelos resultados expressivos obtidos em safras anteriores, onde foram atingidas produtividades médias acima de 5.000 kg/ha⁻¹ (IBGE, 2019a), o que elevou a renda dos produtores (PRATA, 2013).

O acréscimo da área plantada com milho em Sergipe pode estar associado ao desmatamento de vegetação nativa, considerando o estudo de Fernandes *et al.* (2015), que identificou o avanço da agricultura sobre a vegetação da Caatinga em Sergipe. Além dos estudos de Vasconcelos *et al.* (2011) e de White e White (2017), que estudaram respectivamente, a ocorrência e a distribuição de focos de calor em Sergipe e a correlação desses focos com o desmatamento da vegetação típica da Caatinga.

Através da análise dos dados de cobertura florestal gerados pelo MapBiomas⁴ simultaneamente com os dados relativos a área plantada com milho em Carira entre 2005 e 2017 (IBGE, 2019a), obteve-se coeficiente de correlação de Pearson equivalente a -0,84, o que expressa uma correlação negativa (inversa) entre a expansão do cultivo de milho e o desmatamento da Caatinga. Segundo Devore (2006) *apud* Belucio *et al.* (2014) correlações

⁴ O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) foi desenvolvido no Brasil por uma rede colaborativa de pesquisadores, com objetivo de gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, a partir de imagens captadas pelos satélites da série Landsat, com resolução espacial de 30 metros. Através do MapBiomas é possível obter a dinâmica de mudança de cobertura e uso da terra entre os anos de 1985 e 2018 (MAPBIOMAS, 2019).

entre -0,70 e -0,89 são consideradas fortes. Destaca-se que entre os anos de 2007 e 2008, foram incorporados 17.000 hectares ao cultivo de milho, e que neste mesmo período, houve uma redução de aproximadamente 3.000 hectares de vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2019; IBGE, 2019a).

A exploração da cultura do milho no semiárido tem se caracterizado pelas frequentes oscilações em sua produção, alternando safras altamente produtivas, com safras de baixo rendimento (IBGE, 2019a). As oscilações podem estar associadas a variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas, o que denota aparente fragilidade da exploração a adversidades climáticas (SANTANA, 2019).

A transformação produtiva ocorrida no semiárido sergipano, sobretudo pela incorporação de novas tecnologias (PRATA, 2013) revela-se, com maior ênfase, entre as safras de 2007 e 2008 devido ao crescimento abrupto da produção de milho, fenômeno igualmente observado em Carira, que colheu cerca de 210 mil toneladas em 2008, enquanto, na safra anterior, produziu apenas 14.280 toneladas (IBGE, 2019a).

A produção de milho no semiárido de Sergipe apresentou viés de crescimento até o ano de 2010, quando chegou a produzir 738.590 toneladas. Contudo nas safras de 2011 e 2012 a tendência de crescimento foi revertida, reduzindo-se para 267.679 toneladas. Em Carira, essa redução foi ainda maior, pois na safra de 2012 foram colhidas apenas 11.340 toneladas, sendo registrado perda total em 24.500 hectares (IBGE, 2019a). A queda abrupta de produção pode estar associada a baixa precipitação pluviométrica registrada naquele ano (LEIVAS *et al.* 2014).

Nas safras seguintes, 2013 e 2014, a produção de milho tornou a crescer no semiárido de Sergipe, atingindo valores próximos a 653.000 e 715.000 toneladas, respectivamente. Contudo, nas safras de 2015 e 2016, a produção reduziu-se novamente, inclusive no município de Carira, que produziu apenas 20.790 toneladas de milho (IBGE, 2019a).

Na safra de 2017, a produção de milho no semiárido de Sergipe se restabeleceu, alcançando 792.685 toneladas. Em Carira, na mesma safra, foram produzidas 139.500 toneladas de milho, o que representa um acréscimo de 85% em relação ao produzido em 2016. Em 2018, ocorreu nova quebra na safra de milho em Carira, cerca de 27.500 hectares foram totalmente perdidos, o que corresponde a 95% da área plantada, sendo produzidos apenas 2.088 toneladas (IBGE, 2019a).

As constantes oscilações na produção de milho refletem na participação do setor agropecuário na formação do Produto Interno Bruto (PIB) do município de Carira, elevando a

contribuição em safras mais produtivas e, reduzindo-a, em safras com menor rendimento, como às de 2012, 2016 e 2018 (IBGE, 2019a; IBGE, 2019d). Nos anos de 2012 e 2016 as atividades agrícolas agregaram ao PIB municipal cerca de R\$ 15 e 21 milhões, respectivamente, enquanto que nos anos de 2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2015, que obtiveram produções maiores, os valores agregados foram superiores a R\$ 50 milhões, sendo atingido o ápice em 2010 com a contribuição de R\$ 76 milhões ao PIB do município de Carira (IBGE, 2019d).

O comportamento dos preços das terras é outro importante indicador econômico do setor agrícola de Carira, considerando que há estudos que indicam a existência de relação positiva deste comportamento com a rentabilidade das atividades agrícolas (MALASSISE; PARRÉ; FRAGA, 2015). Diante disso, a valoração das terras agrícolas em Carira pode estar associada a expansão e consolidação da cultura do milho, uma vez que as terras destinadas ao cultivo agrícola eram comercializadas a R\$ 3.000,00 por hectare em 2009, elevando-se para R\$ 16.500,00 em 2018. Nesse mesmo período o valor anual do arrendamento por hectare elevou-se de R\$ 100,00 para R\$ 640,00 (EMDAGRO, 2019), acima da inflação acumulada no período, estimada em 71,9% pelo índice IGP-M da Fundação Getúlio Vargas (BCB, 2020).

As terras destinadas ao cultivo de milho no semiárido de Sergipe em sua grande maioria (72%) pertencem a estabelecimentos rurais com área inferior a 20 hectares, somente 4% dos imóveis possuem área superior a 100 hectares. O restante dos estabelecimentos (24%) possui área entre 20 e 100 hectares. O município de Carira apresenta cenário similar, considerando que apenas 7% dos imóveis rurais possuem área superior a 100 hectares, e que 85% dos imóveis possuem área inferior a 50 hectares (IBGE, 2019a). Logo, estes estabelecimentos possuem área inferior a um (1) módulo fiscal, que corresponde a 70 hectares no município de Carira (EMBRAPA, 2020).

De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, cerca de 88% dos produtores de milho do semiárido sergipano exploram a cultura em terras próprias, apenas um 1% cultivam em terras arrendadas, enquanto 6% plantam milho em áreas de assentamento rural. No município de Carira, 83% dos plantios de milho ocorrem em terras próprias, 4% em áreas de comodato e 7% em assentamentos da reforma agrária (IBGE, 2019a).

Em comparação ao ano de 2006, evidencia-se em 2017 uma redução do número de estabelecimentos rurais produtores de milho no semiárido de Sergipe, apesar da área cultivada ter aumentado cerca de 20% entre os anos de 2006 e 2017. Neste período, o número de estabelecimentos rurais decresceu 7%, reduzindo-se de 21.851 para 20.340 estabelecimentos (IBGE, 2019a; IBGE, 2020). No município de Carira também ocorreu uma redução na

quantidade de estabelecimentos rurais produtores de milho, o número decresceu de 1.213 para 935 estabelecimentos entre 2006 e 2017, ou seja, um decréscimo de 23%, apesar da área plantada ter aumentado cerca de 121% neste período, passando de 14.000 para 31.000 hectares. Em relação aos estabelecimentos familiares produtores de milho foi registrado em Carira uma redução de 38% no número destes estabelecimentos, considerando que existiam 1.111 estabelecimentos familiares em 2006, enquanto em 2017 este número limitou-se a 686 estabelecimentos. Em contrapartida, ocorreu um acréscimo de 144% no número de estabelecimentos não familiares no município de Carira, o número elevou-se de 102 para 249 estabelecimentos entre os anos de 2006 e 2017 (IBGE, 2019a; IBGE, 2020).

1.2.2 Interações entre o clima, solo e o cultivo de milho

O milho é uma cultura muito exigente em água, tendo seu crescimento e desenvolvimento, condicionado a disponibilidade deste recurso ambiental. Valores adequados de temperatura e de radiação solar também são necessários (LANDAU; MAGALHÃES; GUIMARÃES, 2018). O milho por pertencer ao grupo de plantas C₄ responde com elevados rendimentos ao aumento da intensidade luminosa (SANS; SANTANA, 2002), além de utilizar a água de modo mais eficiente (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

As plantas quando submetidas a estresse ambiental, não respondem de forma uniforme, sua resposta varia de acordo com seu estágio fenológico. Portanto, a compreensão deste ciclo é vital para análises que envolvam os efeitos das interações entre o clima e a planta (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

O ciclo fenológico do milho pode ser dividido em duas grandes fases: o estágio vegetativo, que compreende a emergência, o surgimento de folhas e o pendoamento⁵; e o estágio reprodutivo, que contempla: o espigamento (embonecamento/polinização); a formação do grão; e a maturação fisiológica da planta (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). O intervalo específico entre os estádios pode variar em função da variabilidade das cultivares, ano agrícola, data do plantio e local (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

Os efeitos limitantes do milho ocasionados por deficiência hídrica são mais perceptíveis e menos complexos do que os causados por temperaturas e intensidades inadequadas de

⁵ O pendoamento ocorre quando a inflorescência masculina, contendo as flores masculinas, emerge na planta (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

radiação solar, ainda mais quando estes estão associados a deficiência hídrica em ambientes com elevada demanda evaporativa (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

O milho apresenta sensibilidade à deficiência hídrica em todas as suas fases. Na fase vegetativa, o estresse hídrico resulta no fechamento dos estômatos, provocando a redução da atividade fotossintética. Contudo, é no estágio reprodutivo que ocorrem os maiores distúrbios, que impactam sobre a produtividade da cultura. O número potencial de grãos é determinado na iniciação floral e durante o desenvolvimento da inflorescência, enquanto o potencial de produção é fixado no período de fertilização e durante o enchimento dos grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado com a atividade fotossintética da planta (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Durante o florescimento a ocorrência de estresse hídrico durante dois dias reduz o rendimento em 20% e entre quatro a oito dias diminui o rendimento em mais de 50% (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Portanto, as maiores perdas estão associadas a ocorrência de estresse hídrico entre as duas semanas anteriores ao espigamento, bem como as duas semanas seguintes. O que ocasiona redução irreversível no rendimento de grãos, diminuindo seriamente o seu número, e consequentemente o tamanho das espigas (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). Logo, a melhor distribuição das chuvas na fase de floração e enchimento de grãos pode contribuir para maior produtividade da cultura (SILVA; PACHECO, 2014).

A cultura do milho necessita de 400 a 600 mm de precipitação durante o seu ciclo fenológico (MAPA, 2019). Nos estádios iniciais de crescimento, em um clima quente e seco, o consumo de água raramente excede 2,5 mm/dia, entretanto na fase reprodutiva, entre o espigamento e a maturação, pode consumir até 10 mm/dia, caso a temperatura esteja muito elevada e a umidade do ar muito baixa (LANDAU; MAGALHÃES; GUIMARÃES, 2018).

Diante das consequências do estresse hídrico sobre a produtividade da cultura, torna-se imprescindível o desenvolvimento de cultivares ambientadas ao clima do semiárido, a fim de minimizar a vulnerabilidade do milho a climas secos e quentes e com altas taxas de evaporação, (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

As condições edáficas também influenciam a disponibilidade hídrica às plantas, considerando que o solo pode reter água, armazenando-a por um determinado tempo. A capacidade de retenção de água é influenciada pelas propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura (LEPSCH, 2010).

Do ponto de vista físico, um solo pode ser considerado ideal para o cultivo de plantas, quando apresenta concomitantemente: boa capacidade de retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular, enquanto que atributos como a estabilidade dos agregados e a capacidade de infiltração de água do solo são mais relevantes para a qualidade ambiental dos ecossistemas (REINERT; REICHERT, 2006).

Solos arenosos, com teor de argila inferior a 15%, não são recomendados para o cultivo de milho, considerando que normalmente são mais secos, perdem mais água por evaporação, e sua maior macroporosidade reduz a capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso, são mais suscetíveis a processos de lixiviação (SANS; SANTANA, 2002). Também, devem ser evitados solos com argila expansiva, por apresentarem forte agregação, prejudicando a permeabilidade do solo e a livre penetração do sistema radicular. Assim como solos rasos, que apresentam menor capacidade de armazenamento de água, restringem o desenvolvimento das raízes, e estão sujeitos a um desgaste mais rápido pela pouca espessura do perfil (SANS; SANTANA, 2002).

Em Sergipe, solos com profundidade inferior a 50 cm não são recomendados para o cultivo, bem como solos com afloramentos rochosos ou muito pedregosos, nos quais calhaus e matacões ocupem mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno (MAPA, 2019). Estas características limitantes são comuns nos Neossolos Litólicos, que ocorrem com frequência no semiárido de Sergipe (JACOMINE *et al.*, 1975).

Desta maneira, a agricultura de sequeiro na região semiárida é influenciada pela variabilidade espaço-temporal das precipitações, associada a elevadas temperaturas e altas taxas de evaporação (SILVA *et al.*, 2006). Logo, a escolha adequada da época de plantio deve considerar as especificidades de cada cultivar, bem como o regime hídrico da região e as características físico hídricas do solo, para assim, garantir maior disponibilidade de água para as culturas durante seu ciclo fenológico, e consequentemente elevar a produtividade da lavoura (SANS; GUIMARÃES, 2006; MAPA, 2019). Por isso, é importante que sejam definidos os melhores períodos de semeadura, com base nas especificidades meteorológicas e edáficas de cada região, a fim de reduzir o risco inerente da atividade agrícola às adversidades climáticas (ROSSETTI, 2001).

Neste contexto, foi instituído o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) como instrumento da política agrícola do Brasil, a fim de minimizar as perdas na produção agrícola, além de nortear a aplicação de crédito agrícola e da seguridade rural (ROSSETTI, 2001; SANS; GUIMARÃES, 2006). Através deste instrumento, são identificadas as melhores épocas de

semeadura das culturas para cada localidade, considerando as condições ambientais (temperatura, distribuição das chuvas e disponibilidade de água no solo) e as especificidades de cada cultivar, como seu ciclo, fases e necessidade térmica (SANS; GUIMARÃES, 2006). Portanto, o ZARC indica o período em que a cultura tem maior probabilidade de desenvolver-se em condições edafoclimáticas favoráveis (SANS; GUIMARÃES, 2006). Para tanto, se faz necessário, analisar séries históricas de dados meteorológicos (ROSSETTI, 2001).

Em Sergipe, encontra-se em vigor a Portaria nº 315, de 5 de novembro de 2019 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que aprova o ZARC para a cultura de milho no ano-safra 2019/2020. Conforme esta portaria, o município de Carira está apto para o cultivo de milho, sendo recomendado os períodos de semeadura admitindo-se três níveis de risco: 20%, 30% e 40% (MAPA, 2019).

Os períodos de semeadura que apresentam menor risco de perda ao cultivo (20%), sobrepõem-se aos meses de abril, maio e junho, que são os meses mais chuvosos de Carira, acompanhado do mês de julho, concentrando cerca de 50% da precipitação anual. O trimestre mais chuvoso ocorre entre os meses de maio, junho e julho, com precipitação média de 289 mm (EMBRAPA, 2016).

A chuva excessiva após a formação das espigas e o enchimento dos grãos pode ocasionar doenças causadas por fungos, que prejudicam a qualidade e a produtividade do milho, devido a podridão das espigas e a presença de grãos ardidos, principalmente em cultivares com espigas que não dobram após a maturação, que são mais susceptíveis aos patógenos (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Logo, o produtor rural, deve ficar atento ao período do plantio do milho e optar por tecnologias e cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas da região, a fim de elevar a produtividade da lavoura e minimizar perdas, seja por deficiência hídrica ou pelo excesso de chuvas após a maturação dos grãos (OLIVEIRA *et al.*, 2009; MAPA, 2019).

1.2.3 Impactos ambientais associados a agricultura intensiva

A agricultura intensiva caracteriza-se pela produção em larga escala através de monoculturas, altamente mecanizadas e com o emprego intensivo de insumos genéticos e químicos exógenos ao sistema. A simplificação dos sistemas de produção, os tornam mais susceptíveis a fatores externos desestabilizadores (VEIGA; EHLERS, 2003).

Uma série de impactos ambientais negativos estão associados a agricultura intensiva, como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a degradação dos solos, a perda de biodiversidade (POSSENTI *et al.*, 2007; BITTENCOURT, 2009) e a elevação da emissão de gases de efeito estufa, como o óxido nitroso (N_2O), resultante da volatilização de fertilizantes nitrogenados (ALVES *et al.*, 2012).

As águas superficiais podem ser contaminadas por fertilizantes e pesticidas, sendo que o excesso de nutrientes no solo, como o nitrato (NO_3^-) e o fosfato (PO_4^{3-}), contribuem para a eutrofização do ambiente aquático (BITTENCOURT, 2009), enquanto que os pesticidas podem ser transferidos para o homem e à fauna aquática, podendo causar toxicidade (GUERRA, 1985 *apud* POSSENTI *et al.*, 2007). Contudo, é o solo o principal receptor e acumulador de pesticidas, tendo em vista que os agrotóxicos são aplicados diretamente sobre ele ou nas folhagens das plantas. No solo, os pesticidas podem ser adsorvidos ou movimentar-se horizontalmente e verticalmente (SILVA; SILVA, 2007). A adsorção dos pesticidas é geralmente maior em solos com textura argilosa, com elevada capacidade de troca de cátions (CTC), enquanto sua movimentação é favorecida em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004; PAULA, 2007).

Pesticidas como a atrazina, principal herbicida utilizado no cultivo de milho em Carira (SILVA, 2015), pode ser detectado em águas superficiais e subterrâneas, sendo facilmente lixiviado em solos arenosos (LUDOVICE; ROSTON; TEIXEIRA FILHO, 2003).

A conversão do uso do solo sob cobertura florestal para o cultivo de culturas temporárias provoca maior exposição da superfície do terreno à agentes erosivos (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005). Os processos erosivos agem lentamente, sendo difícil a sua percepção em curto prazo, principalmente os processos de baixa intensidade. Contudo, alguns sinais podem ser observados visualmente, como o escoamento de águas superficiais barrentas, o assoreamento de cursos d'água, o surgimento de sulcos, voçorocas, manchas desnudas e de pedestais de erosão, estes últimos caracterizados pelo afloramento de rochas no solo (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

Em culturas temporárias, sem uso de práticas conservacionistas do solo, as perdas são maiores após o preparo do solo e no início do ciclo das culturas, onde o solo fica mais exposto a ação das chuvas e do vento, sendo que solos rasos, com textura arenosa, desprovidos de cobertura vegetal são mais susceptíveis a processos erosivos (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

Além da erosão, solos desnudos favorecem a lixiviação de nutrientes, reduzindo a fertilidade do solo. O uso continuado do solo com cultivos temporários, sem a devida reposição de nutrientes contribui para a perda de sua fertilidade, reduzindo sua capacidade produtiva (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005; POSSENTI *et al.*, 2007).

As propriedades físicas do solo podem ser impactadas pela mecanização agrícola, causando a sua compactação. Solos argilosos, com alto teor de areia fina e com baixo teor de matéria orgânica são mais propensos a compactação (BENNIE; KRYNAUW, 1985 *apud* MELO *et al.*, 2008). O pastejo bovino sob lotações contínuas e intensivas também pode ocasionar a compactação do solo (PARENTE; MAIA, 2011). A compactação do solo diminui seu volume e aumenta sua densidade. A redução da macroporosidade do solo interfere na sua permeabilidade, reduzindo sua condutividade hidráulica (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005), além de restringir o crescimento do sistema radicular das plantas (CAPECHE, 2008). Ademais, o revolvimento constante do solo impacta sobre a matéria orgânica por expô-la demasiadamente à radiação solar, o que acelera seu processo de decomposição (POSSENTI *et al.*, 2007). A redução do teor de matéria orgânica no solo interfere na sua estrutura, por estar intimamente associada a estabilização e a sedimentação dos agregados do solo (BASTOS *et al.*, 2005).

A expansão da agricultura intensiva sobre florestas nativas acarreta redução de biodiversidade devido à perda, degradação e fragmentação de habitats, importantes para manutenção das espécies da flora nativa e fauna silvestre (LEAL *et al.*, 2005). Em Carira, estima-se que a cobertura florestal remanescente seja inferior a 10% do original (SFB, 2017; MAPBIOMAS, 2019). Além disso, a conversão de florestas em áreas agricultáveis eleva as emissões de gases de efeito estufa (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012).

Assim, para garantir a conservação da biodiversidade brasileira foram incorporados a legislação ambiental mecanismos de conservação da biodiversidade. No final da década de 80 foi instituída a obrigatoriedade da Reserva Legal para todos os imóveis rurais do País. Através deste mecanismo, todos os proprietários ou possuidores de imóveis rurais passaram a ser obrigados a manter em suas propriedades/posses cobertura vegetal nativa em percentual não inferior a 20% da área do imóvel, salvo algumas exceções (MORAES, 2009).

Ao final dos anos 90, o dispositivo legal que instituiu a Reserva Legal foi alterado, passando a ser reeditado periodicamente por meio de medidas provisórias. Entretanto, não houve alterações para os proprietários/posseiros de imóveis rurais localizados no bioma

Caatinga, que continuaram obrigados a manter a título de Reserva Legal, 20% da área dos seus imóveis rurais (MORAES, 2009).

Em 2012, com a criação do novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 2012) foi flexibilizada a instituição da Reserva Legal para imóveis rurais de até quatro módulos fiscais, que passou a ser constituída em alguns casos, pela área remanescente de vegetação nativa preexistente em 22 de julho de 2008 (BRASIL, 2012). O que por vezes, torna inócuo o propósito da Reserva Legal como mecanismo de conservação da biodiversidade, considerando que os proprietários/posseiros de imóveis rurais com até quatro módulos fiscais, que tiveram sua vegetação nativa integralmente ou parcialmente suprimida em período anterior a 22 de julho de 2008, ficaram desobrigados a recompor a Reserva Legal ao percentual mínimo de 20%, devendo conservar apenas os remanescentes de vegetação nativa, que por muitas vezes se encontram fragmentados e isolados, além de apresentarem tamanho reduzido. Segundo Pires, Fernandez e Barros (2006) a formação de “ilhas de habitat” resulta em perda de biodiversidade. Além de incrementar a erosão do solo e deteriorar a qualidade dos recursos hídricos (KORMAN, 2003).

1.2.4 Sistemas de manejo do solo e tecnologias utilizadas no cultivo de milho

A produtividade agrícola não está associada apenas a fatores climáticos e edáficos, mas também ao manejo da cultura e ao adequado uso do solo através de boas práticas, a fim de propiciar às plantas o suprimento adequado de ar, água e nutrientes, essenciais para seu desenvolvimento (PEDROTTI; MELLO JÚNIOR, 2009).

O manejo do solo é um componente fundamental do sistema de produção (CASALINHO *et al.*, 2007). Ainda mais em regiões onde há sérias limitações edafoclimáticas que somada à degradação ambiental, afeta significativamente a produtividade vegetal e, por conseguinte, a qualidade de vida da população (SAMPAIO; SALCEDO, 1997). Assim, torna-se necessário avaliar os fatores edafoclimáticos da região, como subsídio à tomada de decisão, quanto ao sistema de produção e de manejo do solo a ser empregado na produção de grãos (SANS; SANTANA, 2002).

No principal polo produtor de milho de Sergipe, formado pelos municípios de Simão Dias, Carira, Frei Paulo, Pinhão e Poço Verde, foram evidenciados processos de erosão hídrica, tendo como provável causa, a adoção de técnicas inadequadas de manejo do solo, como o

plantio morro abaixo, além do uso excessivo de grades ou seu uso em condições desfavoráveis de umidade do solo (NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI, 2016). O uso recorrente de grades no preparo convencional⁶ do solo provoca a sua compactação subsuperficial (PACHECO *et al.*, 2016), formando uma camada compactada abaixo da profundidade de trabalho. Dependendo do grau de compactação, o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular e a infiltração de água no solo podem ser reduzidos (ROSA, 2007; MENTGES *et al.*, 2011).

O plantio direto⁷ surge como alternativa ao preparo convencional, por propiciar menor revolvimento do solo com a eliminação ou redução das atividades de aração e gradagem (CRUZ *et al.*, 2001). Entretanto, em Carira há uma baixa adesão dos produtores rurais ao manejo conservacionista do solo, considerando que o preparo convencional é realizado em 1.350 estabelecimentos rurais (IBGE, 2019b), enquanto o plantio direto e o cultivo mínimo⁸, práticas mais conservacionistas, são realizados em apenas 193 estabelecimentos rurais (IBGE, 2019b).

Entre os benefícios apontados pelo plantio direto, destacam-se a maior proteção do solo à erosão hídrica, a manutenção da umidade do solo, a elevação da atividade biológica e do teor de matéria orgânica, a racionalização da mecanização agrícola, e o aumento da produtividade (CRUZ *et al.*, 2001). Entretanto, nos primeiros anos após a implantação, o plantio direto pode ocasionar uma leve compactação do solo em suas camadas superficiais em decorrência do menor revolvimento do solo e do constante tráfego de máquinas pesadas e implementos agrícolas (RALISCH *et al.*, 2013). Este efeito tende a ser minimizado com ao longo dos anos, em consequência da melhoria na estrutura do solo, derivada do aumento do teor de matéria orgânica na sua superfície (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2006).

A implantação do plantio direto requer a descompactação das camadas adensadas, aplicação de herbicidas para o controle de plantas invasoras, uso de semeadoras específicas, correção nutricional e da acidez do solo, além da manutenção de cobertura vegetal na superfície do terreno (CRUZ *et al.*, 2001).

⁶ O preparo convencional do solo é caracterizado no semiárido de Sergipe pela passagem de grade aradora antes do início das chuvas, e com duas passagens com grade niveladora próximo ao plantio (NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI, 2016).

⁷ O plantio direto ou semeadura direta é definido “como o processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulco, ou covas, com largura e profundidade suficiente para a adequada cobertura e contato delas com a terra” (CRUZ *et al.*, 2001, p.13).

⁸ O cultivo mínimo é caracterizado pelo preparo reduzido do solo, com a utilização de escarificador para abertura de sulcos e a quebra de camadas compactadas (RODRIGUES *et al.*, 2011).

A manutenção de cobertura vegetal sobre o solo protege sua estrutura do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial das enxurradas, além de elevar a capacidade de infiltração de água, reduzir as taxas de evaporação, bem como atenuar a pressão exercida no solo pela mecanização agrícola (CRUZ *et al.*, 2001). Contudo, às adversidades climáticas do semiárido restringem a sucessão de culturas e a produção de fitomassa, que se decompõe rapidamente em consequência das altas temperaturas da região (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017).

Apesar de lenta, a acumulação de fitomassa na superfície do solo através de plantio direto é possível em climas mais secos e com período chuvoso mais curto, considerando o experimento de semeadura direta do milho conduzido por Silva *et al.* (2011). Os autores observaram maior aporte de restos culturais na superfície do solo a partir do quarto ano, sendo que a cobertura se situou próxima dos 100% logo após a colheita, além de identificarem a precipitação pluvial como o principal fator regulador do acúmulo de fitomassa no solo.

A necessidade de conservação dos resíduos culturais sobre o solo após a colheita pode se constituir em empecilho ao plantio direto no semiárido sergipano onde, habitualmente, os restos culturais do milho são destinados à nutrição animal de ruminantes, prática comum em Carira (SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS, 2012).

Destaca-se que no sistema convencional de plantio do milho, as perdas de solo são superiores as observadas no plantio direto, o que favorece a degradação dos solos (RODRIGUES; NOGUEIRA; IMBROISI, 2001). As perdas são ainda maiores quando os solos se encontram totalmente expostos, desprovidos de qualquer tipo de cobertura, o que favorece a ocorrência de processos erosivos (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

Neste sentido, Barros *et al.* (2015) constataram que no sistema convencional a perda de solo é 117% maior que a observada no plantio direto e cerca de 90% maior do que a ocorrida no cultivo mínimo, enquanto em solos desnudos, sem cobertura vegetal, as perdas de solo foram ainda maiores, cerca de 712% mais elevadas do que no plantio convencional do milho. Destaca-se que o experimento conduzido pelos autores foi realizado em Frei Paulo/SE, em Cambissolo com textura franco-argilosa, com regime de precipitação pluvial de 398 mm durante o ciclo da cultura e de 630 mm/ano.

Em relação ao pacote tecnológico utilizado no polo produtor de milho de Sergipe, Nogueira Junior, Amorim, Dompieri (2016), identificaram três níveis de tecnologia, alto, médio

e baixo, caracterizando-os de acordo com as cultivares utilizadas (híbridos simples, duplos, triplos e transgênicos) e com a dosagem aplicada nas adubações fosfatadas e nitrogenadas.

Em Carira, predomina o cultivo de sementes híbridas transgênicas com genes *Bacillus thuringiensis* (Bt) e com a tecnologia RR. A transgenia Bt protege a planta contra insetos-praga, enquanto a RR proporciona resistência a ação de herbicidas à base de glifosato (SANTOS, 2012). Portanto, as sementes RR auxiliam no controle de plantas daninhas, que podem reduzir a produtividade de grãos e auxiliar na proliferação de pragas e doenças (PROCOPIO, 2016).

Na cultura do milho é recomendado que o controle das plantas daninhas seja intensificado entre o décimo e o quinquagésimo sexto dia após a emergência, por se tratar do período mais crítico à cultura. É importante também a escolha de sementes com alto vigor, para que a cultura se estabeleça o mais rápido possível, livrando-se das interferências negativas das plantas daninhas derivadas da competição por luminosidade, nutrientes e água (PROCOPIO, 2016).

Em relação ao cultivo de plantas transgênicas resistentes a insetos-praga é recomendado pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) a implementação de áreas de refúgio para retardar a evolução de indivíduos resistentes à tecnologia Bt (WAQUIL *et al.*, 2011; LEITE *et al.*, 2011; ZANCANARO *et al.*, 2012; RESENDE *et al.*, 2014).

Para a formação de áreas de refúgio é preconizado a semeadura de 10% da área cultivada com milho Bt com outros híbridos que não possuam essa tecnologia, mas que apresentem porte e ciclo vegetativo similar ao híbrido Bt cultivado. A área de refúgio não deve ser implantada em distância superior a 800 metros das plantas transgênicas (WAQUIL *et al.*, 2011). Por meio das áreas de refúgio são preservados indivíduos suscetíveis à proteína transgênica, possibilitando o seu acasalamento com possíveis adultos sobreviventes à toxina para preservação da suscetibilidade à proteína transgênica Bt, mantendo a eficiência da tecnologia no controle de pragas (WAQUIL *et al.*, 2011; ZANCANARO *et al.*, 2012; RESENDE *et al.*, 2014). A inobservância desta estratégia pode estar associada aos casos de resistência as toxinas Bt no cultivo de milho, existindo relatos de infestações de lagartas do gênero *Spodoptera* em áreas cultivadas com híbridos Bt (RESENDE *et al.*, 2014) inclusive em Carira, na safra de 2013 (TEODORO *et al.*, 2013).

Em experimento realizado em Frei Paulo/SE, no ano de 2014, foram testados 36 cultivares, entre híbridos transgênicos e convencionais de ciclo precoce e superprecoce, cultivados em Cambissolo Eutrófico. As chuvas apresentaram regularidade durante o ciclo da

cultura, tendo chovido no mês do plantio 101 mm e, nos meses subsequentes, choveram 178, 189 e 145 mm, respectivamente, totalizando 613 mm. Ao término do experimento, foi constatado que 18 cultivares obtiveram rendimento acima da média, com produtividade variando entre 11.810 kg/ha⁻¹ e 13.859 kg/ha⁻¹. Das quais 17 possuíam genótipo de precocidade (PESSOA *et al.*, 2016). Em 2017, o experimento foi retomado através da avaliação do desempenho produtivo de 39 híbridos comerciais, tendo como resultados rendimentos médios entre 7.278 kg/ha⁻¹ e 10.247 kg/ha⁻¹, com precipitação pluviométrica variando entre 421 mm e 481 mm durante o ciclo da cultura (CARDOSO *et al.*, 2019). Entretanto, por se tratarem de experimentos não continuados, de curta duração, no qual os genótipos não foram submetidos a variações climáticas, não é possível concluir sobre a estabilidade da produção das cultivares testadas, bem como a sua adaptabilidade ao clima da região (MAURO, 1991; CRUZ; CARNEIRO; REGAZI, 2014), caracterizado por apresentar irregularidade espacial e temporal na distribuição das chuvas (MARENGO *et al.*, 2011). A relação das cultivares de milho recomendados para a semeadura em Carira, bem como para os demais municípios do estado, constam no Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos de Sergipe (MAPA, 2019).

Quanto ao uso de insumos agrícolas em Carira, de acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, dos 1.883 estabelecimentos agropecuários do município, 1.184 fazem uso exclusivo de adubação química, enquanto apenas 17 fazem aplicação de calcário ou outro tipo de corretivo do solo. Em relação ao uso de pesticidas, sua aplicação ocorre em 883 estabelecimentos (IBGE, 2019b), muitas vezes sem orientação técnica (SANTOS *et al.*, 2012), tendo em vista que 77% dos estabelecimentos agropecuários de Carira não recebem assistência técnica (IBGE, 2019b).

Neste contexto, são apontadas como aparentes barreiras à incorporação de tecnologias mais conservacionistas, como o plantio direto e o cultivo reduzido, à dependência da produção agrícola a multinacionais do setor químico e a falta de capacitação técnica (RODRIGUES; NOGUEIRA; IMBROISI, 2001), além de restrições edafoclimáticas e o custo para aquisição de implementos específicos, como subsoladores, escarificadores e semeadeiras (CRUZ *et al.*, 2001). Estas últimas devem ser “equipadas com disco duplo para a colocação da semente e roda reguladora de profundidade para propiciar um pequeno adensamento na linha de semeadura” (SILVA, 2014, p.75).

A adoção e o aprimoramento de tecnologias mais eficientes perpassam pelo rompimento de barreiras psicológicas, onde o produtor deve avaliar os riscos e incertezas inerentes à incorporação de novas tecnologias, concomitantemente com a superação de barreiras

econômicas do produtor, limitantes ao aporte de capital em inovações. Além disso, o produtor deve transpor barreiras culturais e informativas derivadas principalmente da falta de conhecimento técnico e da ausência de assistência técnica rural, que acaba por obstar a incorporação de novas tecnologias (BALSAN, 2006), que tendem a elevar o nível de sustentabilidade das atividades agrícolas, desde que incorporem práticas compatíveis para a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade (LOPES; CONTINI, 2012).

1.2.5 Indicadores ambientais de qualidade do solo e da água

A necessidade de diagnosticar, prevenir e monitorar impactos ambientais causados por atividades antrópicas implica no uso de indicadores capazes de retratar a realidade, simplificando informações sobre processos complexos, facilitando sua compreensão. Além de subsidiarem a tomada de decisão pelos gestores (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007; SANCHEZ, 2008).

Nas atividades agrícolas é comum o uso de indicadores de qualidade de solo para diagnosticar e avaliar os compartimentos do agroecossistema visando a manutenção da capacidade produtiva e a minimização dos impactos ambientais (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Indicadores de qualidade da água também se revelam úteis para avaliação de impactos ambientais, considerando que o manejo inadequado do solo, o uso de pesticidas e fertilizantes podem contribuir para a degradação e contaminação dos recursos hídricos (RESENDE, 2002).

1.2.5.1 Indicadores de qualidade do solo

O modelo industrial-produtivista instalado a partir da Revolução Verde, ocorrida no Brasil entre as décadas de 60 e 70, privilegiou somente o aumento da produtividade agrícola como forma de avaliação de eficiência técnica, não considerando questões sociais, tampouco ambientais, propagando uma agricultura comercial extremamente especulativa onde às restrições ecológicas são tratadas como empecilhos à produção, tornando os custos de produção mais elevados (CALVENTE; FAVER, 2014).

Atualmente os empreendimentos agrícolas devem ser abordados de outra forma, não somente pela sua produtividade, mas também pelo seu desempenho econômico, social e

ambiental (GUESMI; SERRA, 2015). Logo, o sistema de manejo do solo passa a ser considerado como sustentável somente após manter ou melhorar a qualidade do solo (LARSON; PIERCE, 1994).

Neste contexto, a avaliação direta das propriedades do solo, se constitui na forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (BURGER, 1996).

Para inferir a qualidade do solo se faz uso de indicadores, que devem apresentar sensibilidade às variações do clima e do manejo do solo, serem acessíveis e de fácil aplicação em campo, além de integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

A escolha do indicador perpassa pelo entendimento de que o solo é um sistema dinâmico oriundo de interações de fatores físicos, químicos e biológicos (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003), onde diferentes práticas de manejo e uso do solo podem mobilizar o solo de forma assimétrica, impactando sobre a taxa de aeração, o fluxo da água e a mobilidade de nutrientes (SILVA, 2014).

A avaliação de um único atributo ou propriedade do solo como resposta à prática de manejo, geralmente não é eficiente para estabelecer uma relação causa-efeito com a produtividade da cultura (SANTI *et al.*, 2012), sendo recomendado o uso integrado de indicadores físicos, químicos e biológicas para um diagnóstico mais confiável da qualidade do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A avaliação das propriedades e atributos físicos do solo permite inferir a sua qualidade quando submetido a práticas de manejo e usos diversos (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005), sendo que o aumento da densidade e da resistência à penetração do solo pode indicar compactação a níveis restritivos ao crescimento radicular, interferindo na produtividade agrícola (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

A compactação do solo impacta negativamente sobre a sua porosidade e estrutura, reduzindo a microporosidade e principalmente a macroporosidade do solo, que está estreitamente associada a condutividade hidráulica, permeabilidade, taxa de infiltração da água, aeração, e, conseqüentemente, ao fluxo de água e nutrientes às plantas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

A densidade do solo e a resistência mecânica à penetração das raízes frequentemente são utilizadas para avaliar o estado de compactação do solo. Ambas são capazes de evidenciar

alterações nas propriedades físicas do solo, derivadas do emprego de práticas inadequadas de manejo do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). A densidade do solo apresenta fácil determinação por meio de anéis volumétricos (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e recebe pouca influência da umidade no solo, enquanto a resistência mecânica à penetração pode ser medida através de penetrômetro de impacto ou cone (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

O uso do penetrômetro apresenta maior sensibilidade a compactação do solo em relação a densidade do solo, pois sua praticidade permite uma maior amostragem (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Entretanto, seus resultados podem ser influenciados pela presença de raízes e pedras no solo. Além disso, em solos com elevada umidade não há diferenciação nas leituras, enquanto em solos com baixa umidade, a leitura é dificultada pela excessiva resistência do solo (VAZ *et al.*, 2002; REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Assim, é recomendada a leitura nas faixas de umidade estabelecidas entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (VAZ *et al.*, 2002).

Outro importante indicador da qualidade do solo é a matéria orgânica, que está associada as atividades biológicas do solo e a sua estrutura, em consequência do seu poder de cimentação e de estabilização dos agregados do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Os indicadores químicos geralmente estão relacionados à fertilidade do solo e a produtividade das culturas (MORRIS, 2007). Os principais indicadores químicos de qualidade de solo são o pH, o carbono orgânico, a capacidade de troca de cátions (CTC), o nitrogênio do solo, os nutrientes disponíveis às plantas, a condutividade elétrica e sais solúveis totais (GOMES; FILIZOLA, 2006). Os atributos químicos do solo requerem um acompanhamento frequente e detalhado em cultivos agrícolas, considerando que na colheita há exportação de nutrientes e, conseqüentemente, maiores demandas por fertilização são exigidas para sua reposição. Ademais, a incorporação de corretivos e fertilizantes pode causar desequilíbrio no agroecossistema (CAMARGO, 2016).

Existem poucas pesquisas no semiárido de Sergipe avaliando os atributos físicos e químicos do solo sob cultivo de milho. Neste contexto, Portela *et al.* (2014) avaliaram diversos atributos químicos e físicos do solo em duas áreas cultivadas com milho através de manejo convencional, uma localizada em Simão Dias e a outra em Carira. Os autores identificaram evidências de alterações nos atributos físicos do solo por influência do sistema de manejo utilizado, considerando que foram encontrados valores elevados de macroporosidade, reduzido teor de matéria orgânica e baixos valores de diâmetro médio ponderado. Enquanto, a análise

dos atributos químicos não revelou limitações à produção agrícola. Em outro estudo, Luz *et al.* (2012) avaliaram os atributos químicos de solos cultivados com milho em Carira, observando a presença de caráter eutrófico, porém com baixa CTC devido à sua composição granulométrica. Além de baixos teores de cálcio e magnésio trocáveis.

Logo, o monitoramento do solo através de indicadores químicos e físicos constitui-se em medida essencial para a obtenção de níveis elevados de sustentabilidade, ao permitir a detecção de anomalias que podem interferir na produtividade da cultura, bem como na qualidade dos recursos naturais (CASALINHO *et al.*, 2007).

1.2.5.2 Indicadores de qualidade da água em áreas com exploração agrícola

A qualidade das águas é influenciada diretamente pelos padrões de uso das terras nas bacias hidrográficas (GONCALVES; ROCHA, 2016). A agricultura direta ou indiretamente contribui para a degradação dos recursos hídricos (RESENDE, 2002). Os cursos d'água podem receber grandes quantidades de nutrientes e sedimentos que, muitas vezes, são retirados das camadas mais férteis do solo (RIGHETTO, 1998), especialmente em áreas desnudas e com ausência de vegetação ripária (RESENDE, 2002). As matas ciliares reduzem a turbidez e a presença de contaminantes através de filtragem química e por processamento microbiológico (GONCALVES; ROCHA, 2016).

O nitrato (NO_3^-) e o fósforo (P) são considerados importantes indicadores da qualidade da água em áreas agrícolas, por estarem associados ao processo de eutrofização de ecossistemas aquáticos. Em concentrações elevadas o NO_3^- e o P favorecem a proliferação de algas e plantas aquáticas, que reduzem a penetração de luz e a disponibilidade de oxigênio, o que pode ocasionar a mortandade de peixes (RESENDE, 2002). Além disso, a ingestão de água com elevada concentração de NO_3^- pode causar efeito negativo para a saúde humana, sendo estabelecido em 10 mg L^{-1} a concentração máxima para o consumo humano (JADOSKI *et al.*, 2010). Elevadas concentrações de NO_3^- na água geralmente estão associadas ao uso de fertilizantes, considerando que a amônia (NH_3) aplicada via fertilizantes tende a ser convertida rapidamente em amônio (NH_4^+) e, posteriormente, em NO_3^- , que propende a permanecer na solução do solo devido à pouca atração pelas cargas positivas das partículas do solo, o que torna o NO_3^- fortemente propenso ao processo de lixiviação (RESENDE, 2002; PINHEIRO *et al.*, 2013). Em áreas agrícolas é comum a detecção de NO_3^- em águas subterrâneas e superficiais

(GARCIA-GARIZÁBAL *et al.*, 2012; VASCONCELOS *et al.*, 2013; CAPOANE *et al.*, 2015; SCHLEDER *et al.*, 2017).

A intensidade do processo de contaminação do NO_3^- depende da permeabilidade do solo, da pluviosidade e das quantidades adicionadas de fertilizantes nitrogenados. Aplicações demasiadas de nitrogênio estão intimamente ligadas ao processo de contaminação da água. Por isso, recomenda-se como medida mitigadora, o correto dimensionamento das adubações e o manejo conservacionista do solo para minimizar a sua compactação e o escoamento superficial das chuvas (RESENDE, 2002).

1.2.6 Gestão e administração de atividades agrícolas

O milho é uma *commodity* agrícola, por isso, seu preço não é estabelecido pelo produtor, mas sim pelo mercado, que tende a operar próximo da concorrência perfeita⁹. O que exige uma gestão rural eficiente, tendo em vista que a lucratividade do produtor está sujeita ao controle do custo de produção¹⁰ e a produtividade da lavoura (ARTUZO *et al.*, 2018), ainda mais com a diminuição da intervenção governamental no setor agrícola, por meio de subsídios (NACHILUK; OLIVEIRA, 2012).

O controle dos custos de produção se constitui em instrumento primordial para a tomada de decisão do produtor rural, pois permite avaliar a eficiência¹¹ do sistema de produção adotado pelo produtor rural (RICHETTI, 2016), que impreterivelmente busca minimizar seu custo de produção e elevar sua produtividade (MENEGATTI; BARROS, 2007; ARTUZO *et al.*, 2018).

Lembrando-se que a produção em maior escala de *commodities* agrícolas tende a reduzir os custos da produção em razão da maior diluição dos custos fixos, além de possibilitar a

⁹ O mercado é perfeitamente competitivo quando todas as empresas partem do pressuposto de que o preço de mercado independe de seu nível de produção. Assim, cada empresa preocupa-se apenas com a quantidade de bens que deseja produzir, pois independentemente da sua produção, somente poderá vendê-lo ao preço estabelecido pelo mercado. Assim, a empresa torna-se uma tomadora de preço (VARIAN, 2000).

¹⁰ Os custos de produção agrícola constituem-se em todos os gastos relacionados direta ou indiretamente com a cultura, desde o período que antecede o plantio até a pós-colheita (ANDRADE *et al.*, 2012)

¹¹ A eficiência de uma atividade produtiva pode ser avaliada através da análise da sua rentabilidade, que reflete o grau de êxito econômico obtido por uma empresa em relação ao capital nela investido (BRAGA, 1989). Para tanto, é necessário apurar os custos de produção e a renda bruta dos empreendimentos agrícolas (VIANA; SILVEIRA, 2008).

aquisição de insumos a preços mais baixos e a venda da produção em condições e preços mais vantajosos (CONTE; FERREIRA FILHO, 2006).

A falta de conhecimento técnico e de fontes de informações confiáveis frequentemente induzem o produtor rural a tomar decisões de forma empírica, com base na sua experiência e tradição (VIANA; SILVEIRA, 2008) o que torna difícil quantificar e identificar os pontos de estrangulamento do processo produtivo (OLIVEIRA; FIGUEIREDO; OLIVEIRA, 2001).

Somente a partir da implantação de um sistema de contabilidade é possível identificar os custos dentro do processo produtivo para avaliar financeiramente os resultados da empresa agrícola (VIANA; SILVEIRA, 2008). Assim, o controle dos custos de produção subsidia o gerenciamento rural, pois permite identificar imperfeições nos sistemas de produção agrícola, como operações desnecessárias, mão de obra ociosa, uso de máquinas e implementos inadequados ou mal regulados, gasto excessivo de combustível, melhores combinações de insumos e a adoção de práticas e tratamentos culturais mais eficientes (NACHILUK; OLIVEIRA, 2012; ARTUZO *et al.*, 2018). Estima-se que cerca de 70% dos gastos com o custeio da lavoura de milho correspondem aos custos com aquisição de insumos (FURLANETO; ESPERANCINI, 2010; SILVA *et al.*, 2015).

Novas tecnologias introduzidas ao sistema produtivo, como sementes transgênicas e máquinas mais eficientes, tendem a alterar a produtividade das lavouras, bem como o seu custo de produção (KANEKO *et al.*, 2010; PAVÃO; FERREIRA FILHO, 2011). A opção por sementes com tecnologia Bt tende a reduzir os custos com operações de máquinas e com a aquisição de insumos, considerando que não é necessária a pulverização de inseticidas (SILVA *et al.*, 2015).

Deste modo é necessário que os produtores rurais internalizem sobre a importância da gestão dos custos, a fim de subsidiar a tomada de suas decisões, seja na escolha do sistema de cultivo, entre adquirir ou não máquinas e implementos, bem como a adesão à novos pacotes tecnológicos, uma vez que o resultado econômico da produção agrícola, lucro ou prejuízo, está condicionado ao preço de mercado do produto e às particularidades de cada unidade produtora (ARTUZO *et al.*, 2018).

Além dos aspectos financeiros a administração rural envolve também a gestão produtiva, comercial e de recursos humanos. Esta última, implica na contratação e dimensionamento de mão de obra, na divisão das tarefas, no gerenciamento do tempo de execução das atividades, bem como na capacitação e no desenvolvimento dos trabalhadores.

Estas ações interferem diretamente no bem-estar social dos envolvidos com a produção e no desempenho da empresa rural (CELLA, 2002; BREITENBACH, 2014). Enquanto, que a gestão comercial envolve a definição de estratégias para a comercialização da produção, compra de insumos e de fatores de produção, bem como na seleção de clientes e de fornecedores de bens e serviços e de potenciais compradores dos produtos gerados (CELLA, 2002). A gestão produtiva está intrinsicamente associada a definição das atividades a serem realizadas e do sistema de produção a ser adotado, tendo como objetivo principal alcançar metas de produção e produtividade previamente estabelecidas, considerando as disponibilidades e exigências de recursos, bem como os riscos e as rentabilidades potenciais, e as ameaças e oportunidades do ambiente (CELLA, 2002; PEREIRA, 2010).

Para a sustentabilidade de uma empresa rural é fundamental o planejamento, organização, direção e controle das atividades produtivas, comerciais, financeiras e de gestão dos recursos humanos, ainda mais em cenários que apresentam elevado grau de incertezas, motivado pela sazonalidade das condições de mercado e por adversidades climáticas (CELLA, 2002; PEREIRA, 2010; SILVA, 2013), como ocorre nos estabelecimentos agrícolas situados no semiárido sergipano.

1.2.7 Sustentabilidade de atividades agrícolas e métodos avaliativos

A origem do termo desenvolvimento sustentável surge a partir da percepção da finitude dos recursos naturais e de sua gradativa e perigosa depleção frente a um padrão exacerbado de produção e consumo. Esta percepção motivou a busca por alternativas de desenvolvimento que concilhassem a preservação do meio ambiente com o desenvolvimento econômico (NASCIMENTO, 2012).

A partir do Relatório Brundtland elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento publicado em 1987, intitulado *Nosso Futuro Comum*, o termo desenvolvimento sustentável passou a ser disseminado como aquele que visa satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades (SAMPAIO; SALCEDO, 1997; LENZI, 2006; COSTA, 2010a). Este conceito evidencia um compromisso ético de solidariedade entre gerações, que envolve uma mudança comportamental do ser humano em relação a natureza, através de ações voltadas para conservação ambiental, melhora da qualidade de vida da população e crescimento econômico com respeito a capacidade de suporte dos ecossistemas (SANTANA, 2019).

O desenvolvimento sustentável apoia-se essencialmente em três pilares, o ambiental, o econômico e o social. Este último, associa-se a importância da redução das desigualdades sociais e ao direito de acesso aos bens necessários para uma vida digna. A dimensão ambiental pressupõe a capacidade de produzir e consumir de forma a garantir que os ecossistemas possam manter sua autorreparação ou capacidade de resiliência, enquanto a dimensão econômica busca o aumento de eficiência da produção e do consumo, com economia crescente de recursos naturais (NASCIMENTO, 2012).

Na agricultura o termo sustentabilidade refere-se à capacidade em satisfazer continuamente às necessidades atuais e futuras da sociedade por alimentos e matéria prima de forma tecnicamente adequada, economicamente viável e socialmente aceitável, conservando o solo, água e a biodiversidade (FAO, 1993 *apud* COSTA, 2010a).

De um ponto de vista estritamente ambiental a agricultura sustentável implica:

[...] na redução do uso de recursos não renováveis e um uso racional de recursos naturais, mantendo ou elevando a sua qualidade, através da minimização de perdas, otimizando a taxa de retorno e de reciclagem energética e de nutrientes, maximizando a capacidade de uso múltiplo da paisagem, assegurando um fluxo energético eficiente e encorajando a produção local de alimentos adaptados ao ambiente natural e socioeconômico” (COSTA, 2010a, p. 69).

Porém, a sustentabilidade agrícola não deriva unicamente de questões ambientais, mas sim da análise integrada de questões ambientais, sociais e econômicas. Estas últimas, influenciam na continuidade das atividades agrícolas e na permanência dos produtores no meio rural, enquanto as sociais estão intrinsicamente associadas a melhora da qualidade de vida dos agricultores (MÜLLER, 1996; COSTA, 2010a).

Apesar de ser defendida e almejada pelo setor produtivo e por segmentos da sociedade, a sustentabilidade da agricultura ainda se apresenta como uma utopia. Alternativas de manejo agrícola mais sustentáveis, capazes de minimizar danos ambientais, por vezes, esbarram em interesses econômicos distintos. Uma melhora na relação agricultura e ambiente através de tecnologias consideradas menos agressivas, nem sempre garantem a sustentabilidade social (ASSAD; ALMEIDA, 2004).

O conceito de sustentabilidade será melhor compreendido quando for possível realizar efetivamente a sua avaliação ou mensuração, de forma a permitir que se encontrem soluções

para o aperfeiçoamento dos sistemas de produção, para torná-los mais sustentáveis (COSTA, 2010b).

Assim, o uso de indicadores é recomendado para inferir a sustentabilidade de agroecossistemas¹². Os indicadores devem retratar ao menos uma das três dimensões de sustentabilidade e, no mínimo, integrar-se a uma das principais características dos sistemas agrícolas sustentáveis: produtividade, estabilidade, resiliência e equidade (MÜLLER, 1996; COSTA, 2010b). Além de serem passíveis de mensuração para agregar ou simplificar informações relevantes, tornando visíveis ou perceptíveis os fenômenos de interesse (CORRÊA, 2007).

A avaliação de impactos ambientais (AIA) constitui-se em importante ferramenta para inferir a sustentabilidade de agroecossistemas, considerando que a maioria dos métodos de AIA utilizam-se de indicadores de desempenho (BOCKSTALLER *et al.*, 2008). Por meio da AIA é possível orientar produtores rurais a buscar práticas de manejo mais sustentáveis, reconhecendo os limites dos recursos naturais, a importância da conservação da biodiversidade e os serviços ambientais fornecidos pelos ecossistemas (RODRIGUES; RODRIGUES, 2007). Além de nortear a tomada de decisão do produtor, contribuindo para o desenvolvimento local sustentável (RODRIGUES, 2009; ARAUJO, 2018; DEMATTÉ FILHO *et al.*, 2014).

No Brasil, destacam-se dois métodos de avaliação da sustentabilidade em sistemas agrícolas: (i) Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades Rurais¹³ (APOIA-NovoRural); (ii) Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas¹⁴ (ISA). Ambos são muito similares, considerando que avaliam a sustentabilidade a partir de um enfoque sistêmico por meio da criação de um índice (valor), resultante da análise de um conjunto de indicadores de desempenho relacionados a questões ambientais, econômicas, sociais e de gestão de estabelecimentos rurais (SANTANA, 2019).

¹² Os agroecossistemas são ecossistemas agrícolas que têm como objetivo principal a manipulação dos recursos naturais visando a otimização da captura da energia solar para a produção de alimentos ou fibras (LIMA *et al.*, 2011).

¹³ O sistema APOIA-NovoRural foi desenvolvido em 2003 por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) a fim de oferecer uma metodologia adequada para avaliação do impacto ambiental de atividades agrícolas (ARAUJO, 2018; SANTANA, 2019).

¹⁴ O sistema de avaliação ISA foi desenvolvido em 2009 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em colaboração com diversas entidades de fomento à pesquisa e do governo de Minas Gerais, sendo adotada como metodologia de referência para de adequação socioeconômica e ambiental das propriedades rurais no estado de Minas Gerais (SANTOS, 2018; SANTANA, 2019).

O ISA é composto por 23 indicadores agrupados em sete subíndices: balanço econômico, balanço social, gestão do estabelecimento rural, capacidade produtiva do solo, qualidade da água, manejo dos sistemas de produção e ecologia da paisagem agrícola, tendo como foco principal a avaliação do processo de gestão das atividades produtivas para formação de sistemas agrícolas mais sustentáveis (SILVA, 2018; SANTANA, 2019). Enquanto, o sistema APOIA-NovoRural é mais abrangente, sendo composto por 62 indicadores de desempenho agrupados em cinco dimensões: ecologia da paisagem, ambiental, sociocultural, economia e de gestão rural (ARAUJO, 2018; SANTANA, 2019). De acordo com Santana (2019) o APOIA-NovoRural oferece uma visão mais ampla dos sistemas ambientais, dando-lhe maior importância para definição do que seria ou não sustentável.

A principal vantagem do APOIA-NovoRural surge da sua capacidade em associar componentes de diferentes naturezas, permitindo a composição de índices parciais de impacto ambiental para cada dimensão avaliada (ARAUJO, 2018). Assim, o APOIA constitui-se em alternativa robusta à avaliação ambiental de atividades rurais, adequação tecnológica agropecuária e gestão ambiental integrada (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2010).

Ambos utilizam um conjunto de indicadores de desempenho para avaliação de impactos ambientais, econômicos e sociais em estabelecimentos rurais. Entretanto, o sistema APOIA-NovoRural oferece uma visão mais ampla dos sistemas ambientais, dando-lhe maior importância para definição do que seria ou não sustentável (SANTANA, 2019). Além disso, o APOIA possui um enfoque sistêmico, constituindo-se em alternativa robusta à avaliação ambiental de atividades rurais, adequação tecnológica agropecuária e gestão ambiental integrada (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2010).

O sistema APOIA-NovoRural foi estruturado a partir dos seguintes princípios: (i) ser aplicável em qualquer atividade do meio rural; (ii) atender a rigidez da comunidade científica e simultaneamente permitir o uso prático pelos agricultores e empresários rurais; (iii) considerar de maneira abrangente os aspectos ecológicos, econômicos e sociais a partir de indicadores específicos; (iv) propiciar uma avaliação final integral do impacto ambiental da atividade (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003). Princípios estes, que fundamentam a sua utilização na avaliação de diferentes atividades rurais em diversas regiões do país, como indicam os estudos de Moraes (2010), Dematté Filho *et al.* (2014), Devides (2015), Araujo (2018) e Silva Junior (2018).

1.2.7.1 Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades Rurais (APOIA-NovoRural)

O sistema APOIA-NovoRural consiste de um conjunto de matrizes escalares de ponderação, formuladas de modo a permitir a valoração de indicadores de desempenho ambiental de uma atividade agropecuária, considerando cinco dimensões: Ecologia da Paisagem, Qualidade dos Compartimentos Ambientais (atmosfera, água e solo), Valores Socioculturais, Valores Econômicos e Gestão e Administração (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

As matrizes de ponderação dão origem ao índice de impacto ambiental, calculado para cada um dos indicadores. Este índice é transformado por uma função de valor que o relaciona com o desempenho ambiental da atividade em uma escala de utilidade que varia entre zero (0), que representa a pior situação, e um (1) que retrata a melhor condição. Este valor é comparado a uma linha base de conformidade estabelecida pelo sistema em 0,7 (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; MORAIS, 2010).

O sistema apresenta 62 indicadores, construídos a partir de uma revisão de métodos de AIA (DEMATTE FILHO *et al.*, 2014), tendo como escala espacial de análise o estabelecimento rural e suas especificidades e, como corte temporal, a situação anterior e posterior a efetiva implantação da atividade, ou a área com e sem influência da atividade de referência (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

Os indicadores do APOIA-NovoRural requerem informações obtidas diretamente com o responsável pela unidade de avaliação através de um questionário, vistorias de campo, testes e/ou coleta de amostras *in situ* para posterior análise laboratorial (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003). O uso de imagens de satélite e plantas do estabelecimento podem complementar as informações repassadas pelo produtor (DEMATTE FILHO *et al.*, 2014).

Os indicadores utilizados pelo sistema APOIA-NovoRural avaliam os seguintes atributos, considerando as cinco dimensões:

- i) Ecologia da Paisagem: analisa a fisionomia e conservação dos habitats naturais, o cumprimento com o requerimento de reserva legal e áreas de preservação permanente, a manutenção de corredores ecológicos, condição de manejo das áreas de produção agropecuária, não agrícolas e de produção animal, contabilidade de focos de vetores de doenças endêmicas, os riscos para espécies ameaçadas (ou de relevante interesse ecológico), os riscos de incêndio e geotécnico;

- ii) Dimensão Qualidade Ambiental (atmosfera, água e solo): avalia a qualidade atmosférica por meio da análise das partículas em suspensão e fumaça, a emissão de gases poluentes e causadores do efeito estufa (óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio), a geração de ruídos e odores nos estabelecimentos rurais e arredores. A qualidade da água é analisada por meio de aspectos físico-químicos e biológicos das águas superficiais e subterrâneas, além da poluição visual e do impacto potencial de pesticidas, por fim a qualidade do compartimento solo é determinada por parâmetros ligados a fertilidade antes e após a implantação da atividade, além de verificar informações referentes a ocorrência de processos erosivos resultantes ou associados à atividade;
- iii) Dimensão Valores Socioculturais: utiliza indicadores de qualidade de vida dos residentes na propriedade, incluindo acesso à educação, a serviços básicos, esporte e lazer, padrão de consumo, conservação do patrimônio histórico, artístico, arqueológico, espeleológico e características relativas ao emprego, como qualidade, incluindo benefícios; segurança e saúde ocupacional, assim como a oportunidade de emprego local qualificado;
- iv) Dimensão Valores Econômicos: faz uso de indicadores relacionados a renda líquida do estabelecimento, a estabilidade e segurança da atividade analisada, a diversidade de fontes de renda e de sua distribuição entre os envolvidos nos processos produtivos, além de dados sobre endividamento, evolução no valor da propriedade (a título de variação patrimonial) e qualidade da moradia;
- v) Dimensão Gestão e Administração: utiliza indicadores relacionados a dedicação e o perfil gerencial do responsável pelo estabelecimento rural, as condições de comercialização, o destino, reciclagem e tratamento dos resíduos produzidos e gestão de insumos químicos, o relacionamento institucional do estabelecimento em relação ao acesso à assistência técnica, associativismo e treinamento profissionalizante (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; DEMATTÉ FILHO *et al.*, 2014; ARAUJO, 2018).

A partir da análise dos resultados do sistema é possível identificar os indicadores mais restritivos à sustentabilidade para que sejam propostas medidas corretivas, recomendações de adequação tecnológica e de manejo para abatimento dos impactos ambientais negativos e, assim, elevar o grau de sustentabilidade do estabelecimento rural avaliado (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

1.2.8 Ferramentas de geoprocessamento aplicadas no monitoramento agrícola

As geotecnologias disponíveis atualmente fornecem dados contínuos e consistentes da superfície terrestre, os quais são de grande utilidade para elaboração de mapas temáticos, mensuração de recursos naturais, estimativas de safras, avaliação da sanidade biológica de culturas e controle de desflorestamento (NOVO, 2010).

Os estudos relacionados à detecção de recursos naturais por meio de sensores remotos estão ancorados na capacidade destes sensores em captar e registrar a energia refletida pela superfície terrestre, possibilitando a distinção do comportamento espectral dos mais variados alvos, como o solo, água e vegetação (NOVO, 2010; FLORENZANO, 2011).

A resposta espectral da vegetação varia ao longo das faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, sendo que na faixa do infravermelho próximo, a vegetação reflete energia com maior intensidade. O solo apresenta uma curva espectral mais uniforme quando comparada com a vegetação, refletindo mais energia na faixa do infravermelho médio, enquanto a água limpa reflete pouca energia na faixa do visível e nenhuma na faixa do infravermelho (próximo e médio). Contudo, a curva espectral da água é alterada em função dos diferentes tipos e concentrações de material em suspensão (FLORENZANO, 2011).

O comportamento espectral da vegetação não é uniforme ao longo do seu ciclo vegetativo, sendo impactado por alterações fenológicas e morfológicas das plantas, variando de acordo com a região do espectro, com o tipo de cultura, com o ângulo de visada, com o tipo de substrato, com a arquitetura do dossel e a disponibilidade de água (NOVO, 2010). Portanto, a assinatura espectral da vegetação, apesar de seguir características capazes de se distinguir de outros alvos, como o solo exposto e a água, se modifica em função das condições climáticas em um dado espaço geográfico e intervalo de tempo (VIGANÓ; BORGES; FRANCA-ROCHA, 2011).

No semiárido evidenciam-se nitidamente as alterações no comportamento espectral da vegetação, considerando que a regulação dos estádios fenológicos das plantas está associado ao regime pluviométrico da região (ILHA; PAGATTO, 2017), que apresenta grande variabilidade temporal e espacial (MARENGO *et al.*, 2011).

O monitoramento das alterações da cobertura vegetal por meio de sensores remotos, constantemente exige a utilização de técnicas de processamento digital, como transformações radiométricas e as técnicas de classificação e segmentação de imagens (NOVO, 2010).

As mudanças radiométricas permitem gerar uma nova imagem, com intuito de realçar informações pouco perceptíveis na imagem original, sendo comum a geração de índices de vegetação e a aplicação de modelos de mistura espectral (PONZONI; SCHIMABUKURO; KUPLICH, 2012), enquanto que as técnicas de segmentação e classificação permitem o reconhecimento automático de regiões com resposta espectral homogênea, além de agrupar os

objetos em classes de acordo com critérios de decisão e a similaridade em suas respostas espectrais (FLORENZANO, 2011).

Recentemente, o monitoramento e a medição das alterações da terra passaram a ser realizadas de forma automatizada através de tecnologias de processamento e classificação de imagens em “nuvem” por meio da plataforma *Google Earth Engine* (MEDEIRO; LOBÃO; VASCONCELOS, 2017). Neste contexto, foi desenvolvido no Brasil, por uma rede colaborativa de pesquisadores, o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), com objetivo de gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, a partir de imagens captadas pelos satélites da série Landsat com resolução espacial de 30 metros. Através do MapBiomias é possível obter a dinâmica de mudança de cobertura e uso da terra no município de Carira entre os anos de 1985 e 2018 (MAPBIOMAS, 2019). Outra iniciativa importante para a gestão, controle e monitoramento da cobertura vegetal no País, advém do novo Código Florestal (BRASIL, 2012) através da criação do Cadastro Ambiental Rural – CAR e, posteriormente, após a instituição do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR. Este sistema é destinado a integração e ao gerenciamento de informações ambientais de todos os imóveis rurais do País em uma base única de dados espaciais, contendo a localização e a delimitação do perímetro dos imóveis rurais, bem como dos fragmentos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente, das áreas de uso restrito, das áreas consolidadas e, caso existente, a localização da Reserva Legal (MMA, 2014).

As transformações radiométricas utilizadas na geração de índices de vegetação evidenciam a resposta espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, possibilitando distinguir diferentes tipos de cobertura e uso da terra (MOREIRA, 2005) e com frequência são utilizados no monitoramento e acompanhamento de atividades agrícolas (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um dos mais utilizados no mundo, sendo comumente utilizado no estudo de culturas agrícolas e florestais. Através dele é possível detectar atividades sazonais e fenológicas, duração do período de crescimento, mudanças fisiológicas das folhas, períodos de senescência e estresse hídrico (PONZONI; SCHIMABUKURO; KUPLICH, 2012; FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Sua interpretação deve considerar fatores limitantes, como a interferência atmosférica e a saturação do Índice de Área Foliar, que torna o NDVI insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (ZANZARINI *et al*, 2013). Além disso, o brilho

do solo por vezes superestima seus valores (PONZONI; SCHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). O NDVI é obtido através da equação (1):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Onde: NIR se refere ao Fator de reflectância bidirecional (FRB) no infravermelho próximo; e RED o FRB no vermelho. Sendo que estas faixas correspondem a mais de 90% da resposta espectral da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Os valores de NDVI variam entre -1 e +1, sendo que os valores mais elevados estão associados a maior vigor e densidade de cobertura vegetal fotossinteticamente ativa, enquanto valores menores estão associados a áreas com menor quantidade de vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Rochas e solos sem vegetação apresentam valores próximos a zero, enquanto a água apresenta valores negativos (HOLBEN, 1986; JUSTICE *et al.*, 1985 apud ESPIG; SOARES; SANTOS, 2006).

Séries temporais de índices de vegetação são frequentemente utilizadas para o monitoramento de atividades agrícolas de ciclo curto como soja e milho (RISSO *et al.*, 2009; PONTES *et al.*, 2005; YI; SHIMABUKURO; QUINTANILHA, 2007), pois permitem identificar a resposta espectral da cultura ao longo do ciclo vegetativo das plantas (LOEBMANN, 2012). O NDVI é recomendado para diferenciação da produtividade de culturas agrícolas por se tratar de um bom estimador de biomassa e por apresentar boa correlação com o teor de umidade da planta (PONTE; ROCHA; LAMPARELLI, 2005)

Neste contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu o Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), que é uma ferramenta *web* com acesso livre, que permite analisar perfis temporais do NDVI. Os índices são gerados a partir de imagens do sensor MODIS dos satélites TERRA e AQUA, com resolução espacial de 250 metros. Os dados do SATVeg recobrem toda a América do Sul (EMBRAPA, 2014). Segundo Trentin e Silva (2018) a ferramenta SATVeg mostrou-se eficiente para monitorar áreas de silvicultura, sendo recomendada para o monitoramento da vegetação e avaliação do comportamento espectral de áreas agrícolas.

Diversos estudos apontam a aplicabilidade do uso de índices de vegetação gerados a partir de imagens do sensor MODIS na agricultura, como o estudo de Yi, Shimabukuro e Quintanilha (2007). Estes autores concluíram que o uso de índice de vegetação a partir de imagens multiespectrais do sensor MODIS mostrou-se eficiente para identificar e mapear parcialmente áreas cultivadas com milho na região Sul do Brasil. Em Sergipe, Galina *et al.* (2014) realizaram estudo similar, identificando o avanço do cultivo do milho no estado, sobretudo, nos territórios do Sertão Ocidental e do Alto Sertão sergipanos entre os anos de 2003 e 2012. Galina *et al.* (2014) também observaram diferenças na resposta espectral da cobertura vegetal por conta da pluviosidade, utilizando índices de vegetação derivados de imagens do sensor MODIS. Enquanto Pontes, Rocha e Lamparelli (2005) ao avaliar o comportamento espectral da cultura ao longo do seu ciclo vegetativo, identificaram correlação entre o índice NDVI e a produtividade da cana-de-açúcar. Logo, o uso de índices de vegetação constitui-se em importante ferramenta para o mapeamento, monitoramento e acompanhamento do desenvolvimento de culturas agrícolas (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

O aprimoramento das tecnologias de sensoriamento remoto tendem a tornar as atividades agrícolas mais eficientes e, conseqüentemente, mais sustentáveis, à medida que estas ferramentas auxiliam nas estimações de fitomassa e de produtividade, no monitoramento e desenvolvimento fenológico das culturas, na produção de estatísticas agrícolas mais confiáveis e na identificação de anomalias nas lavouras, áreas instáveis e de baixa produtividade (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

A utilização de índices de vegetação já é uma realidade na agricultura de precisão, que tende a se difundir com o aprimoramento da resolução espacial dos sensores orbitais e com a utilização de sensores óticos acoplados a veículos aéreos não tripulados (JORGE; INAMASU, 2014). Estas tecnologias estão transformando a agricultura comercial, propiciando maior sustentabilidade ao subsidiar a aplicação de insumos em taxas variáveis, garantindo maior eficiência e economicidade ao sistema produtivo (MANTOVANI; COELHO; MATOSO, 2005).

1.3 Considerações finais

A exploração da cultura do milho no semiárido sergipano expandiu-se rapidamente nas últimas décadas, além de modernizar-se, passando a ser caracterizada pela monocultura intensiva fundada na incorporação de híbridos convencionais e transgênicos simultaneamente

a aplicação maciça de produtos químicos exógenos ao sistema (fertilizantes e defensivos químicos).

A simplificação do sistema produtivo e a incorporação de novas tecnologias elevou a produtividade da cultura, proporcionando benefícios econômicos aos envolvidos com a atividade. Entretanto, uma série de impactos ambientais passaram a ser associados à cultura, como a degradação dos solos, a contaminação dos recursos hídricos, além da homogeneização da paisagem e a perda de biodiversidade pela expansão da área cultivada.

Por trás da modernização e expansão do cultivo do milho no semiárido sergipano, há um aporte fundamental do poder público através do fomento do crédito e da seguridade agrícola, amparados no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da cultura do milho. Estas políticas trouxeram segurança ao produtor ao permitir o custeio das lavouras e absorver grande parte das perdas em períodos de seca prolongada, que ocorrem naturalmente no semiárido sergipano.

A simples existência do ZARC, mesmo que seguido à risca, não garante a produtividade agrícola, que está intrinsecamente associada ao clima da região, as práticas agrícolas utilizadas e as condições edáficas, que derivam da interação entre o clima, material de origem, relevo e tempo. Desta interação surgem os solos do semiárido sergipano, caracterizados por apresentarem pouca espessura e profundidade efetiva relativamente reduzida, pela presença de afloramentos rochosos, além de horizontes subsuperficiais pouco desenvolvidos com a presença frequente de argilominerais 2:1 e plintita. Estas características físicas tornam os solos da região naturalmente susceptíveis a processos erosivos e extremamente frágeis ao manejo agrícola, especialmente, quando realizado em desnível e de forma convencional com uso de grade aradora. Estas práticas são amplamente difundidas no semiárido sergipano constituindo-se em um dos principais entraves para a sustentabilidade da exploração da cultura do milho junto com o clima.

Como alternativa às práticas não conservacionistas de manejo do solo surge o plantio direto por proporcionar maior proteção ao solo, manter a sua umidade, elevar a atividade biológica e o teor de matéria orgânica no solo. Além de maximizar a ciclagem de nutrientes e a janela climática de semeadura, que é muito estreita no semiárido. Entretanto, o sucesso desta prática exige a formação de cobertura morta no solo, que pode ser formada através da manutenção contínua dos restos culturais sobre a superfície do solo após a colheita ou através de culturas antecedentes. Porém, exige-se uma melhor distribuição das chuvas, considerando que no semiárido nordestino o principal regulador do acúmulo de fitomassa no solo é a

precipitação. Além disso, o aproveitamento dos resíduos culturais do milho para o pastejo bovino ou para produção de ração animal é uma prática comum no semiárido sergipano, o que configura outro entrave à sustentabilidade da atividade.

A carência de assistência técnica também pode ser considerada um entrave à sustentabilidade ao impactar sobre a produtividade da cultura do milho, na qualidade dos recursos naturais e no retorno financeiro da atividade, à medida que o uso de insumos químicos pode estar sendo realizado sem receituário agrônômico e acima do recomendado tecnicamente.

Portanto, para que o aumento da produtividade seja sustentável, os processos produtivos devem ser organizados de forma sistêmica, integrando os recursos naturais e humanos com tecnologias de cultivo ambientalmente corretas e produtivamente eficientes. O sistema de produção agrícola não pode mais ser avaliado de forma compartimentalizada, mas sim de forma sistêmica. Cabendo ao produtor rural gerenciar de forma lógica e integrada todo o processo produtivo, desde o preparo do solo até a comercialização da produção, otimizando seus lucros sem comprometer a conservação dos recursos naturais. Por isso, é necessário que o produtor rural tenha ciência dos impactos que pode causar ao meio ambiente pelo manejo inadequado do solo, bem como dos malefícios do uso indiscriminado de produtos químicos (fertilizantes e defensivos químicos), que podem comprometer não somente a qualidade dos recursos naturais, mas também impactar negativamente sobre a produtividade agrícola e, conseqüentemente, sobre sua renda.

Neste contexto, são inseridas as ferramentas de geotecnologia e o sistema APOIA-NovoRural. Estes instrumentos permitem a detecção de aspectos restritivos à sustentabilidade de atividades agrícolas, bem como de eventuais anomalias encontradas no sistema produtivo, subsidiando a execução de ações corretivas, recomendações de adequação tecnológica e de manejo, para elevar o grau de sustentabilidade da atividade. A abordagem sistêmica proporcionada pela metodologia do APOIA permite uma integração dos aspectos ambientais, sociais e econômicos, que tornam este sistema referência para avaliação da sustentabilidade em sistemas agrícolas no país. Assim, o APOIA-NovoRural pode indicar o caminho para que o homem intervenha na natureza com a melhor prática conhecida, que lhe cause o menor impacto (negativo), extraindo sua máxima produtividade, porém, sem esquecer de manejá-la, respeitando seus limites e restrições, visando a sua conservação, reaproximando o homem da natureza.

Referências

- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. *In: Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira* – Brasília, DF: Embrapa, 2012. p.159-191.
- ANDRADE, M. G. F. de; MORAIS, M. I. de; MUNHÃO, E. E.; PIMENTA, P. R. Controle de custos na agricultura: um estudo sobre a rentabilidade na cultura da soja. **Custos e @agronegócio online**, 8 (3), p. 24-45, 2012.
- ARAUJO, C. C. **Sustentabilidade da monocultura do milho em assentamentos rurais no município de Simão Dias – SE**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente), UFS, São Cristóvão, 2018. 119 p.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L de; SILVA, L. X. da. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, pp. 273-294, 2018.
- ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. Agricultura e Sustentabilidade. Contexto, desafios e cenários. **Ciência & Ambiente**, n. 29, p.15-30, 2004.
- AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria, Pallotti, 2004. 100 p.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Revista Campo Território**, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.
- BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de. Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. **Journal of Environmental Accounting and Management**, 5, p. 211-232, 2017.
- BARROS, I. de; PACHECO, E.P.; CARVALHO, H.W.L.; CINTRA, F.L.D.; SILVA, J.M.L.; DANTAS, E.N.; SOARES, T.F.S.N. **Perdas de solo e água em sistemas de cultivo de milho no agreste sergipano**. Boletim de Pesquisa n. 90, Embrapa. Sergipe, 2015. p. 24
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. de S.; ALVAREZ V., V. H.; CORREA, M. M.; COSTA, L. M. da. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.
- BCB. **Matriz de dados do crédito rural – contratações**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>. Acesso em: 01 nov. 2019.
- BCB. **Correção de valores**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 28 jan. 2020.

BELUCIO, L. P.; SILVA, A. P. N. da; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. de A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Enteric Methane production in tropical pastures. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. Salvador, v. 13, n. 4, p. 954-968, 2012.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.

BITTENCOURT, M. V. L. Impactos da agricultura no meio-ambiente: Principais tendências e desafios (Parte 1). **Revista Economia & Tecnologia**, v. 5, n. 3, 2009.

BOCKSTALLER, C.; GUICHARD, L.; MAKOWSKI, D.; AVELINE, A.; GIRARDIN, P.; PLANTUREUX, S. Agrienviromental indicators to assess cropping and farming systems: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.28, n. 1, p.139-149, 2008.

BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira**. São Paulo: Editora Atlas, 1989. p. 408

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o Código Florestal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 20 dez. 2019.

BREITENBACH, R. Gestão rural no contexto do agronegócio: desafios e limitações. **Desafio Online**, v. 2, n. 2, p. 714-731, 2014.

BRINKER, I. **O crédito na agricultura brasileira no período 2013-2018: Um estudo do PRONAF, PRONAMP e demais linhas de crédito rural, com ênfase no investimento**. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre, 2019. 92 p.

BURGER, J. A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and exanple. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 6, p. 1674-1678, 1996.

CALVENTE, A. T.; FAVER, L. C. Políticas públicas, preservação e desenvolvimento do setor agropecuário: uma experiência em Petrópolis-RJ. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014, 491 p.

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016. 241 p.

CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista**. Comunicado Técnico n. 51, Embrapa. Rio de Janeiro, 2008. 6 p.

- CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; CIOTTI, L. H.; SANTOS, D. R. dos. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 647-650, 2015.
- CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L.; ROCHA, L. M. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; GUIMARÃES, L. J. M.; COSTA, E. F. N.; TABOSA, J. N.; SUZARTE, J. S.; SANTOS, L. A. N. **Desempenho de híbridos comerciais de milho em ambientes do Nordeste brasileiro: Piauí, Maranhão e Sergipe**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 122, Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 47 p.
- CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B. da; LOPES, A. da S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistema. **Revista Brasileira de Agrociências**. Pelotas. v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.
- CELLA, D. **Caracterização dos fatores relacionados ao sucesso de um empreendedor rural**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Economia Aplicada), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2002. 166 p.
- CIB. **Guia do milho**: tecnologia do campo à mesa. São Paulo: CIB, 2010. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/GuiaMilhoSet2010.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2018.
- CONAB. **Série histórica das safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 28 dez. 2018.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, Campinas, p. 777-788, 2005.
- CONTE, L.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. Economias de escala na produção de soja no Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 44, 2006, **Anais...** SOBER, Fortaleza, 2006.
- CORRÊA, I. V. **Indicadores de Sustentabilidade para Agroecossistemas em Transição Agroecológica na Região Sul do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2007. 87 p.
- COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável I: Conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 33, n. 2, p. 61-74, 2010a.
- COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável II: Avaliação. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n.2. p. 75-89, 2010b.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13 (Suplemento), p.961-974, 2009.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Imprensa Universitária, v. 2, 2014. 668 p.

CRUZ, J. C. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. **Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola**. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 13-24, Belo Horizonte, 2001.

CUENCA, M. A. G.; DOMPIERI, M. H. G.; SANTOS, F. R. dos. **Expansão da Produção do Milho e Substituição de Cultivos na Região do Sertão Ocidental, no Estado de Sergipe**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 120. Aracaju: Embrapa, 2016.

CUNHA, J. S. **O agronegócio do milho transgênico e a falácia da modernidade no campo sergipano**. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7, 2014, Vitória, **Anais...** CBG, Vitória, 2014.

DEMATTE FILHO, L. C.; PEREIRA, D. C. de O.; RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; MENDES, C. M. I. Gestão ambiental de atividades rurais no polo de agricultura natural de Ipeúna, SP. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, São Paulo, p.41-48, 2014.

DEVIDE, A. C. P. **Sistemas agroflorestais com guanandi (*Calophyllum brasiliense*) em terraço e várzea no Vale do Paraíba do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Agroecologia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2015. 198 p.

EMBRAPA. **Código Florestal: Adequação ambiental da paisagem rural**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>. Acesso em: 10 jan. 2020.

EMBRAPA. **Trimestres mais e menos chuvosos no estado de Sergipe**. Campina Grande, 2016. Disponível em <http://geoinfo.cnpa.embrapa.br/maps/402/download>. Acesso em 6 de janeiro de 2018.

EMBRAPA. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação-SATVeg**. Campinas, 2014. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.

EMDAGRO. **Estatística agropecuária**. Disponível em: <https://www.emdagro.se.gov.br/>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R. dos. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semiárido brasileiro. Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicadas a Engenharia Florestal, 7, 2006, **Anais...** Curitiba: INPE, p.219-226, 2006.

FERNANDES, M. R. de M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. de; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente** 22(4), p. 472-482, 2015.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. Oficina de Textos, 2017. 284 p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2011. 127 p.

FURLANETO, F.; ESPERANCINI, M. Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 297-303, 2010.

GALINA M. H.; CARVALHO, S. S.; NUNES, V. V.; NIOGUEIRA JUNIOR, L. R. Análise Espaço-Temporal do cultivo de milho em Sergipe, com Auxílio de NDVI/EVI - Sensor MODIS, no Período de 2003-2012. *In*: Simpósio regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto, Aracaju, 2014. **Anais...** Geonordeste, Aracaju, 2014. 103-107 p.

GARCIA-GARIZÁBAL, I.; J. CAUSAPÉ, J.; R. ABRAHAO, R. Nitrate contamination and its relationship with flood irrigation management. **Journal of Hydrology**, v. 442, p. 15-22, 2012.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

GONCALVES, D. R. P.; ROCHA, C. H. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1172-1183, 2016.

GUESMI, B.; SERRA, T. Can we improve farm performance? The determinants of farm technical and environmental efficiency. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v.37, n. 4, p. 692-717, 2015.

IBGE. **Banco de dados agregados**. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=tzo=11%i=p>. Acesso em: 10 dez. 2019a.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 10 jan. 2020.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 26 dez. 2019b.

IBGE. **Produto Interno Bruto**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 14 nov. 2019c.

ILHA, D. B.; PAGOTTO, M. A. Avaliação do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI no bioma Caatinga, a partir de imagens do satélite Landsat 8. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18, 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 677-684, 2017.

JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Boletim técnico, v. 36, Embrapa/Sudene, 1975. 505 p.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, v.3, n.1, 2010.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. *In: Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.* (eds) BERNARDI, A.C. de C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y., Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; CASTILHO GITTI, D. de; TARSITANO, M. A. A.; RAPASSI, R. M. A.; VILELA, R. G. **Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(1), 102-109, 2010.

KORMAN, V. **Proposta de integração das glebas do Parque Estadual de Vassununga.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Agrossistemas). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003. 131 p.

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. **Milho: Relações com o clima.** Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html. Acesso em: 28 dez. 2018.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *In: DORAN, J.W. et al. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison: ASA/SSSA, p. 37-51, 1994.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; LACHER JR., T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Revista Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LEITE, N. A.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; PEREIRA, E. J. G. **O Milho Bt no Brasil: a Situação e a Evolução da Resistência de Insetos.** Série documentos n. 133. Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 47 p.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. de C.; TORRESAN, F. E.; BOLFE, E. L. Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro a partir do satélite SPOT-Vegetation e TRMM. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 211-221, 2014.

LENZI, C. L. **Sociologia ambiental: risco e sustentabilidade na modernidade.** São Paulo: Anpocs/Edusc, 2006.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** 2 ed., São Paulo, Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LIMA, J. S.; SALES, M. J. D.; SILVA, T. B.; ARAUJO FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R. Estrutura e propriedades do agroecossistema “vida verde” em Itabaiana (SE). **Rev. Geografia (Londrina)**, v. 20, n. 2, p. 85-98, 2011.

LOEBMANN, D. G. dos S. W.; MAÇONARO, R. P.; SILVA, G. B. S. da; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C. **Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial**. Circular Técnica n. 21. Embrapa: Campinas, 2012.

LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, v. 32, n. 02, p. 27-34, 2012.

LUDOVICE, M. T. F.; ROSTON, D. M.; TEIXEIRA FILHO, J. Efeito da faixa-filtro na retenção de atrazina em escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n. 2, p.323-328, 2003.

LUZ, L. R. Q. P. da; PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de; ANJOS, J. L. dos; MELO, P. de O. Topossequência de solos cultivada com milho no estado de Sergipe. *In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 19, 2012, Lages. **Anais...** Lages: SBCS; UDESC; Epagri; Instituto Federal Santa Catarina, 2012.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: Realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa**. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007. 686 p.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa milho e Sorgo, 2006.

MALASSISE, R. L. S.; PARRÉ, J. L.; FRAGA, G. J. O comportamento do preço da terra agrícola: um modelo de painel de dados espaciais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 53, n. 4, p. 645-666, 2015.

MANTOVANI, E. C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 1-8, 2005.

MAPA. **Portaria nº. 315, de 5 de novembro de 2019**. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho no Estado de Sergipe, ano-safra 2018/2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/portarias/safra-vigente/sergipe/word/PORTN315MILHO1SAFRASE.ret.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2019.

MAPBIOMAS. **Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil** Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas/base-de-dados/metodologia/colecao-3_0/1-ATBD-Collection-3-version-1.pdf. Acesso em: 05 dez. 2019.

MARENGO, J. A; ALVES, L. M; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In: MEDEIROS S.S.; GHEYI, H.R.; GALVÃO, C.O.; PAZ, V.P. (ed) Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do semiárido, 2011, p. 384-422.

MAURO, A. O. **Adaptabilidade, estabilidade e ganho genético com o processo seletivo em soja (Glycine max (L.) Merrill) em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991. 192 p.

MEDEIRO, F. S. L.; LOBÃO, J. S. B.; VASCONCELOS, R. N. de. Avanços no processamento digital de imagens: o Google Earth Engine. Em Simpósio Regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto, 8, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, p. 367-371, 2017.

MELO, R. O.; PACHECO, E. P.; MENEZES, J. C.; CANTALICE, J. R. B. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de caatinga. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 5, p.12-17, 2008.

MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 45(1), p. 163-183, 2007.

MENTGES, Marcelo Ivan; REICHERT, José Miguel; ROSA, David Peres da; VIEIRA, DAVI Alexandre; ROSA, Vanderleia Trevisan; REINERT, Dalvan José. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 315-321, 2011.

MMA. **Instrução Normativa n. 2, de 6 de maio de 2014**. Dispõe sobre o Sistema de cadastro Ambiental Rural – SICAR. Disponível em: http://www.car.gov.br/leis/IN_CAR.pdf. Acesso em: 10 jan. 2018.

MORAES, L. C. S. **Código florestal comentado**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 593 p.

MORAIS, M. A. V. **Aplicação do Sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental do Novo Rural em Assentamentos Rurais no Estado do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2010. 57 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

MORRIS, M. L. M. **Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2007. 82 p.

MÜLLER, S. **Como medir la Sostenibilidad? Una propuesta para el area de la agricultura y de los recursos naturales**. Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales, n. 1. IICA/BMZ/GTZ, Agroamerica, Costa Rica, 1996. 55 p.

NACHILUK, K.; OLIVEIRA, M. D. M. Custo de produção: Uma importante ferramenta gerencial na agropecuária. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 7, n. 5, p. 1-7, 2012.

NASCIMENTO, E. P. do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 51-64, 1 jan. 2012.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; AMORIM, J. R. A. de; DOMPIERI, M. H. G. **Terraceamento: conservação do solo e da água no polo de produção de milho, em Sergipe**. Comunicado Técnico 199. Embrapa. Sergipe, 2016. 10 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2010. 387 p.

OLIVEIRA, I. R. de; CARVALHO, H. W. L. de; PACHECO, C. A. P.; MELO, K. E. de O. M.; MENEZES, A. F.; SILVA, B. S. de F.; FEITOSA, L. F.; RODRIGUES, C. S. **Ocorrência de podridão em espigas de milho em Sergipe**. Circular Técnica n. 55, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2009.

OLIVEIRA, O. S. **Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de milho em Sergipe a partir de indicadores biológicos da qualidade do solo**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

OLIVEIRA, T. B. A.; FIGUEIREDO, R.; OLIVEIRA, M. W. Índices técnicos e rentabilidade da pecuária leiteira. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 687-692, 2001.

PACHECO, C. A. P.; CARVALHO, H. W. L. de; ROCHA, L. M. P. da; CARDOSO, M. J. Cultivares. In: PACHECO, C. A. P., de CARVALHO, H. W. L., CARDOSO, M. J, da ROCHA, L. M. P. (org.) **Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos**. Embrapa, Brasília, 2016.

PARENTE, H.N.; MAIA, M.O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos a com ênfase no semiárido. **Revista Trópica**, Chapadinha, v.5, n.3, p.3-15, 2011.

PAULA, R. T. de. **Mobilidade de atrazine e ametryn em Latossolo Vermelho-Amarelo**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. p. 105

PAVÃO, A. R.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. Impactos econômicos da introdução do milho Bt no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 81-108, 2011.

PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em Ciência do Solo: A Física do solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental**. São Cristóvão: Editora UFS, Aracaju, 2009. 212 p.

PEREIRA, M. F. **Planejamento estratégico: teorias, modelos e processos**. São Paulo: Atlas, 2010.

PESSOA, S. T.; CARVALHO, H. W. L. de; CARDOSO, M. J.; OLIVEIRA, I. R. de; TABOSA, J. N.; ROCHA, L. M. P. da. Desempenho de cultivares de milho na região produtora de Frei Paulo, Sergipe. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 31, 2016, Bento Gonçalves. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; OLIVEIRA, D. A. de; ALBANO, R. M. R. Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 86-93, 2013.

PINTÉR, L. A Strategic Approach to Influencing Agricultural Policy and Practice through Measurement. **From Common Principles to Common Practice**, p. 19, 2007.

PIRES, A. S.; FERNANDEZ, F. A. S.; BARROS, C. S. Vivendo em um mundo em pedaços: efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações animais. **Biologia da conservação: essências**, 231-260, 2006.

PONTES, P. B.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 12, 2005. **Anais...** INPE, São José dos Campos, 2005. p. 217-224

PONTES, P. P. B.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 217-224, 2005.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. Atualizada e ampliada, São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de; ANJOS, J. L. dos; MELO, P. de O. Atributos físico-hídricos e químicos de solos sob cultivo de milho na região agreste de Sergipe. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 51-58, 2014.

POSSENTI, J. C.; TOZETTO, F. C.; BETTIATO, G.; SZEPAHUK, V. A agricultura convencional e suas implicações para o meio ambiente. *In: Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária*, 1, **Anais...**, Dois Vizinhos: Master gráfica e editora Ltda, p. 126-128. 2007.

PRATA, D. A. T. **Determinantes da expansão da produção de milho em Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2013. 100 p.

PROCOPIO, S. de O. Manejo de Plantas Daninhas. *In: PACHECO, C. A. P., de CARVALHO, H. W. L., CARDOSO, M. J, da ROCHA, L. M. P (org). Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos*. Embrapa, Brasília, 2016.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.381–384, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 49-134, 2007.

REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. **Propriedade física do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Apostila. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Documentos 57. Embrapa, Brasília, 2002. 29 p.

RESENDE, D. C.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; DUARTE, J. de O.; SANTOS, F. A. Adoção da área de refúgio e manejo de resistência de insetos em milho Bt. **Revista de Política Agrícola**, ano 23, p.119-128, 2014.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2016/2017, em Mato Grosso do Sul**. Comunicado Técnico, 211. Embrapa: Dourados, 2016.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1a edição. São Carlos: EESC/ USP, 1998. 819 p.

RISSO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERNANDES, S. L. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 379-386, 2009.

RODRIGUES, G. S. **Indicadores de sustentabilidade, avaliação de impactos e gestão ambiental de atividades rurais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.30, n. 252, p.80-89, 2009.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do novo rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.4, p.445-451, 2003.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. Avaliação de Impactos Ambientais na Agropecuária. **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 310 p.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. A.; BARROS, I. de. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v.30, p.229-239, 2010.

RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A.; NASCIMENTO, F. M.; FERNANDES, J. C. Demanda energética de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n.1, p. 65-77, 2011.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J.; IMBROISI, D. Avaliação econômica da agricultura sustentável: o caso dos cerrados brasileiros. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 103-130, 2001.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SAMPAIO, E. V.S.B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: Região semiárida. *In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

SANCHEZ, L. H. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. 495 p.

SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho: clima e solo**. Comunicado Técnico n. 38, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2002.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho**. Circular Técnica n. 82, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2006.

SANTANA, A. P. S. de. **Aspectos da sustentabilidade nas explorações do milho em assentamentos rurais no centro oeste de Sergipe**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. de M.; MENEZES, R. S.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n. 1-2, p. 23-31, 2012.

SANTOS, C. dos. **Níveis Tecnológicos dos Agroecossistemas do Milho no Estado de Sergipe**. São Cristóvão, 2012. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, 2012. 145 p.

SANTOS, C. dos; PEDROTTI, A.; RAMOS, O. F.; RODRIGUES, S. A. S. R. Aspectos da sustentabilidade no cultivo do milho no estado de Sergipe. *In: Encontro Nacional de Geografia Agrária*, 21, 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU/LAGEA, 2012.

SCHLEDER, A. A.; VARGAS, L. M. P.; HANSEL, F. A.; FROEHNER, S.; PALAGANO, L. T.; ROSA FILHO, E. F. da. Evaluation of occurrence of NO_3^- , Coliform and atrazine in a karst aquifer, Colombo, PR. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, 2017.

SFB. **Inventário Florestal Nacional, principais resultados: Sergipe**. Brasília, DF: MMA, 2017. 87 p.

SILVA, A. A. da; SILVA, J. F. da. (Org) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. v.1. 367 p.

SILVA, A. S.; SILVA, I. de F. da; SILVA NETO, L. de F. da; SOUZA, C. de. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1556-1562, 2011.

SILVA, C. S. da. **Avaliação da sustentabilidade do sistema de produção do milho em assentamentos rurais no município de Simão Dias-SE, utilizando o método ISA**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018. 124 p.

SILVA, D. S. da; MOURA, F. R. de; SILVA, M. A. S. da; SILVA, A. A. G. da S. Avaliação do efeito espacial na produção do milho no sertão sergipano. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20677-20701, 2019a.

SILVA, D. S. da; SILVA, M. A. da; CARVALHO, H. W. L. de; DOMPIERI, M. H. G.; CUENCA, M. A. G. Análise da dinâmica e dependência espaciais da produção de milho no território rural “Sertão Ocidental” sergipano. **Scientia Plena**, v. 1, n.8, 2019b.

SILVA, G. D. da; PACHECO, E. P. Importância da distribuição de chuvas para o cultivo de milho no agreste sergipano. *In: Encontro de Recurso Hídrico em Sergipe*, 7, 2014, Aracaju. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SILVA JÚNIOR, E. C. da. **Avaliação de indicadores de impacto ambiental para sustentabilidade de unidades produtivas de café orgânico no DF e RIDE**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios), Universidade de Brasília, Brasília, 2018. 222 p.

SILVA, P. R. A.; CORREIA, T. P. S.; SOUSA, S. F. G.; MILLANI, T. M. Análise econômica de milho convencional e transgênico em dois sistemas de preparos de solo. **Engenharia Agrícola**, n. 35, v. 6, p. 1032-1041, 2015.

SILVA, R. A. G. **Administração Rural: Teoria e Prática**. São Paulo: Juruá, 2013.

SILVA, R. C. da. **Mecanização e manejo do solo**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014. 120 p.

SILVA, S. B. dos S. **Agronegócio e os impactos socioambientais do uso de agrotóxicos na vida de trabalhadores do campo em áreas de produção de milho no município de Carira, SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015. 204 p.

SILVA, T. M. M. da. **Sustentabilidade do sistema agrícola com milho em agricultura familiar em Simão Dias-SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016. 98 p.

SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. S. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.68, n.7, p.781-792, 2006.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Documento n. 191, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 39 p.

SUDENE. **Delimitação do semiárido**. Recife: Sudene, 2017. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 16 nov. 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

TEODORO, A. V.; PROCOPIO, S. de O.; BUENO, A. de F.; NEGRISOLI JUNIOR, A. S.; CARVALHO, H. W. L. de; NEGRISOLI, C. R. de C. B.; BRITO, L. F.; GUZO, E. C. **Spodoptera cosmioides (Walker) e Spodoptera eridania (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae): novas pragas de cultivos da Região Nordeste**. Comunicado Técnico 131. Embrapa: Aracaju, 2013.

TRENTIN, A. B.; SILVA, C. Y. de O. da. Análise temporal do NDVI em áreas de silvicultura pela ferramenta Satveg. Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, n. 10, Santana de Livramento, 2018, **Anais...** Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2018.

VARIAN, H. R. **Microeconomia Princípios Básicos**. 5ª edição, Editora Campos. São Paulo, 2000.

VASCONCELOS, N. S.; DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, J. F. de; LIMA, C. J. G. S. Qualidade das águas subterrâneas de área irrigada da comunidade de Pau Branco em Mossoró (RN). **Holos**, v. 1, p. 47-63, 2013.

VASCONCELOS, P. G. da A.; FONTENELE, M. S.; VIANNA, B. V. G.; PIANA, B. M.; FREITAS, D. M. de; SOUZA, R. A. de. Análise da relação entre focos de calor e o desmatamento na Caatinga. In: Seminário de Geotecnologias, 3, 2011, Feira de Santana. **Anais...** Geonordeste, Feira de Santana, 2011.

VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. de F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. Comunicado técnico n.51. Embrapa. São Paulo, 2002.

VEIGA, J. E.; EHLERS, E. Diversidade Biológica e Dinamismo Econômico no Meio Rural. In: MAY, P. H (org.). **Economia do Meio Ambiente. Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 379 p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P. Custos de produção e indicadores de desempenho: metodologia aplicada a sistemas de produção de ovinos. **Custos e @agronegócio online**, v. 4, n. 3, 2008.

VIGANÓ, H. A. BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. de J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...**, São Bernardo dos Campos: INPE, 2011. p. 1828-1834.

WAQUIL, J. M.; MENDES, S. M.; VASCONCELOS, M. J. V. de; PAIVA, E.; GUIMARAES, C. T. In: CRUZ, J. C.; MAGALHAES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. (Ed.). **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, cap. 13, p. 203-216, 2011.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2017.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 753-763, 2007.

ZANCANARO, P. O.; BUCHWEITZ, E. D.; BOICA JUNIOR, A. L.; MORO, J. R. Avaliação de tecnologias de refúgio no cultivo de milho transgênico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 47, n. 7, p. 886-891, 2012.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, 608-614, 2013.

2 SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO, EM CARIRA-SE

RESUMO: A exploração da cultura do milho tem proporcionado aumento na renda dos produtores rurais do município de Carira, estado de Sergipe, entretanto, a atividade está associada a degradação dos recursos naturais, além de se revelar vulnerável às condições climáticas do semiárido, caracterizadas por altas taxas de evaporação, irregularidade espaço-temporal das chuvas, bem como baixa precipitação pluviométrica. O emprego de práticas inadequadas de manejo do solo e o uso de pacotes tecnológicos alheios às questões regionais podem estar contribuindo para a baixa eficiência dos sistemas de produção em determinadas safras, o que influencia no grau de sustentabilidade dos estabelecimentos agrícolas. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o nível de sustentabilidade de estabelecimentos rurais produtores de milho na microbacia do rio Socavão, em Carira. A presente pesquisa fundamenta-se na hipótese de que a exploração da monocultura do milho contribui para a redução do nível de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais. Como metodologia utilizou-se o método de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades Rurais (APOIA-NovoRural) desenvolvido pela Embrapa, composto, composto por 62 indicadores, englobando cinco dimensões de sustentabilidade: Ecologia da paisagem, Qualidade ambiental (atmosfera, água e solo), Valores socioculturais, Valores econômicos e Gestão e administração rural. A aplicação do método exigiu análises físico-químicas da água e solo, observações *in loco*, e a aplicação de questionário aos produtores rurais. Como resultado, foi constatado baixos índices de sustentabilidade nos estabelecimentos rurais avaliados, especialmente nas dimensões Ecologia da paisagem e Gestão e administração rural. Estas dimensões acabam por restringir a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais, bem como a exploração da monocultura do milho na microbacia do rio Socavão, em Carira, sendo necessárias ações corretivas para elevar a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais envolvidos com a exploração da monocultura do milho.

Palavras-Chave: Agricultura sustentável. Impacto ambiental. APOIA-NovoRural.

SUSTAINABILITY OF CORN PRODUCTION IN THE MICRO WATERSHED OF RIVER SOCAVÃO, CARIRA-SE

ABSTRACT: The exploitation of corn crop has increased income the producers in the municipality of Carira, State of Sergipe. However, the activity it has been associated with the degradation of natural resources. Moreover, the crop has demonstrated vulnerability to semiarid climatic conditions, characterized by high evapotranspiration rates, rainfall irregularities as well as low precipitation rates. The use of inadequate soil management practices and the use of technologies unrelated to regional issues may be contributing to the low efficiency of production systems which influences the sustainability degree agricultural establishments. Thus, the present study evaluated the level of sustainability of corn-producing farms in the Socavão river micro watershed, in Carira municipality, Sergipe state. Specifically, this study tested the hypothesis that intensive exploitation of maize crop contributes to the reduction of the sustainability level in agricultural establishments. To assess the level of sustainability, the Weighted Environmental Impact Assessment of Rural Activities (method developed by Embrapa) was used, consisting of 62 indicators, encompassing five sustainability dimensions: Landscape Ecology, Quality environmental (atmosphere, water and soil), Sociocultural Values,

Economic Values, and Rural and Administration Management. This method required physical and chemical analyzes of water and soil, observations in study area and questionnaire application with the local farmers. As a result, low levels of sustainability in the rural establishments was found. The most restrictive dimensions that affected the sustainability of the production units and of corn crop exploitation in the study area was landscape ecology and the management and administration of production units. Corrective actions are needed to increase the sustainability of rural establishments involved with the exploitation of corn monoculture in the Socavão river micro watershed.

Key words: Sustainable agriculture. Environmental impact. APOIA-NovoRural.

2.1 Introdução

Nas últimas décadas o cultivo de milho no semiárido de Sergipe modernizou-se em razão do uso intensivo de agroquímicos e materiais genéticos de alta produtividade, associado a mecanização intensiva dos cultivos e o elevado aporte de capital financeiro. A produção concentrou-se no oeste sergipano, sobretudo, nos municípios de Carira e Simão Dias (SILVA *et al.* 2019a; SILVA *et al.*, 2019b). Em consequência desta modernização, a produtividade da cultura apresentou crescimento expressivo em Carira, a produtividade média atingiu 6.000 kg/ha⁻¹ em 2014 (IBGE, 2019d).

Este novo modelo de exploração tem proporcionado melhora na qualidade de vida dos agricultores (SILVA, 2016), apesar de constituir-se em entrave à capacidade de sobrevivência das formas familiares de produção ao exigir grande escala de plantio para justificar os investimentos na atividade e reduzir os custos de produção (OLIVEIRA, 2011). De acordo com Santana (2019) a inobservância às novas tecnologias excluí os produtores rurais do agronegócio do milho em Sergipe, especialmente os agricultores familiares sem condições financeiras de adequar-se ao pacote tecnológico. Além disso, o novo modelo de produção tem apresentado limitações no tocante à conservação dos recursos naturais (SILVA, 2016).

Ademais, impactos estão associados a agricultura intensiva, como o desmatamento da vegetação nativa, a exposição do solo às forças erosivas da chuva e a contaminação dos recursos hídricos por insumos químicos. Estes impactos são potencializados em condições de semiaridez, onde os ecossistemas são naturalmente mais sensíveis (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

Diante da maior preocupação da sociedade contemporânea pela conservação dos recursos naturais, surgiram mecanismos norteadores de avaliação de impacto ambiental para controlar, regularizar e principalmente identificar as lacunas existentes nas atividades humanas

que transformam e reduzem os recursos naturais (SANCHEZ, 2008), como a agricultura intensiva.

Neste contexto, surge a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) que aprimora questões relativas à sustentabilidade ao possibilitar a avaliação simultânea de fatores econômicos, sociais e ambientais, fornecendo subsídios à tomada de decisões quanto à mitigação de impactos e a conservação dos recursos naturais (SANCHEZ, 2008).

Na agricultura o termo sustentabilidade refere-se à capacidade em satisfazer continuamente às necessidades atuais e futuras da sociedade por alimentos e matéria prima de forma tecnicamente adequada, economicamente viável e socialmente aceitável, conservando o solo, água e a biodiversidade (FAO, 1993 *apud* COSTA, 2010), sendo que as questões econômicas influenciam na continuidade das atividades agrícolas e na permanência dos produtores no meio rural, enquanto as sociais estão intrinsecamente associadas a melhora da qualidade de vida dos agricultores (MÜLLER, 1996; COSTA, 2010).

Destarte, a sustentabilidade de atividades agrícolas pode ser analisada através do Sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural (APOIA-NovoRural), que permite inferir sobre a qualidade ambiental e a sustentabilidade de atividades agrícolas e de estabelecimentos rurais de forma simples e objetiva, a partir de um conjunto de indicadores econômicos, sociais, ambientais e de gestão e administração rural (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES; RODRIGUES, 2007; RODRIGUES; PIMENTA; CASARINI, 2016).

A metodologia do APOIA-NovoRural apresenta um enfoque sistêmico constituindo-se em alternativa robusta à avaliação ambiental de atividades rurais, adequação de tecnologias agropecuárias e gestão ambiental integrada (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2010). Assim, a ferramenta pode auxiliar na identificação de aspectos potenciais e limitantes ao desenvolvimento sustentável da cultura do milho no semiárido sergipano, indicando os aspectos mais restritivos para que sejam adotadas medidas corretivas ou mitigadoras para elevação do nível de sustentabilidade da atividade (PEREIRA, 2008; ARAUJO, 2018; SANTANA, 2019).

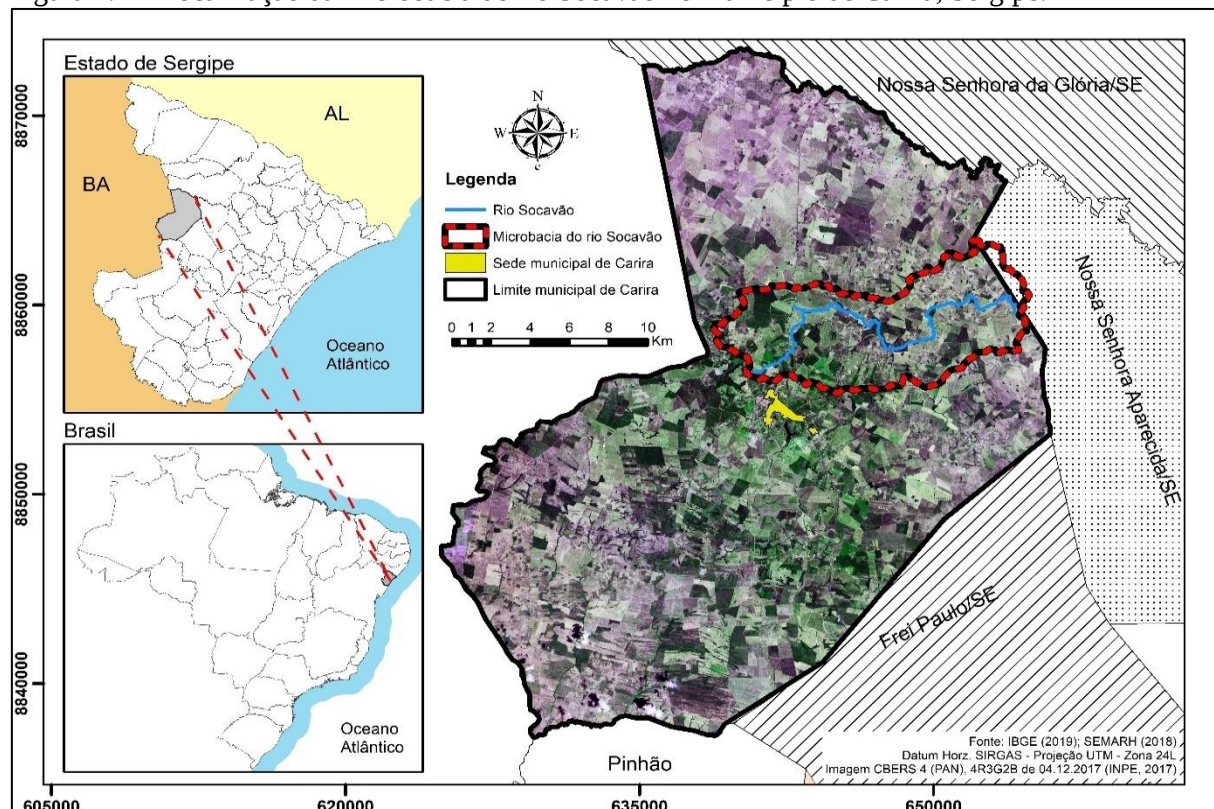
O objetivo do presente estudo é avaliar o nível da sustentabilidade dos estabelecimentos rurais produtores de milho na microbacia do rio Socavão na microbacia do rio Socavão, no município de Carira, Sergipe, identificando similaridades e assimetrias na forma de explorar a cultura em diferentes escalas de produção.

2.2 Material e métodos

A pesquisa apresenta abordagem quali-quantitativa, tendo caráter exploratório-descritivo com levantamento bibliográfico documental e coleta de dados em campo. Como instrumento de coleta de dados utilizou-se a observação participante, a aplicação de questionários semiestruturados, a realização de ensaios e testes *in loco*, além da coleta de amostras de solo e água para análise laboratorial. Os resultados foram comparados e complementados com dados documentais e bibliográficos a fim de fundamentá-los e contextualizá-los em nível municipal.

A aplicação do sistema APOIA-NovoRural foi direcionado a estabelecimentos rurais envolvidos com a produção de milho localizados na microbacia do rio Socavão, no município de Carira, estado de Sergipe (Figura 2.1). A escolha de uma microbacia como área de estudo deriva da sua capacidade em drenar as águas das chuvas escoadas superficialmente para um exutório. Logo, as microbacias tornam-se mais sensíveis a perturbações antrópicas que podem comprometer sua dinâmica de funcionamento, além de permitir a observação da relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos (TEODORO *et al.*, 2007).

Figura 2.1 – Localização da microbacia do rio Socavão no município de Carira, Sergipe.



Elaboração: Autor (2019).

2.2.1 Caracterização da área de estudo

O rio Socavão é um rio intermitente que tem sua nascente no município de Carira, constituindo-se em importante tributário do rio Sergipe em seu alto curso (SERGIPE, 2015). A microbacia do rio Socavão foi delimitada automaticamente através de algoritmos de modelagem hidrológica do *software* GRASS instalado no QGIS 3.6 Noosa. Para tanto, foi alocado ponto exutório próximo à divisa dos municípios sergipanos de Carira e Nossa Senhora Aparecida, tendo como base os dados de elevação do projeto TOPODATA¹⁵ (VALERIANO, 2005) disponibilizados pelo INPE (2019a). A área da microbacia perfaz 7.556 hectares, localizando-se quase que integralmente no município de Carira, no semiárido de Sergipe.

A exploração da cultura do milho é intensa no município de Carira, bem como na microbacia do rio Socavão, com predomínio de sistema de produção baseado na monocultura, com uso de mecanização agrícola em todas as fases da atividade: preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita. Há pouca diversidade nas práticas de manejo do solo, sendo amplamente difundido o manejo convencional, com uso recorrente de grades aradoras e niveladoras, bem como a adoção de pacotes tecnológicos fundados no uso de sementes melhoradas, especialmente, transgênicas, associada a aplicação maciça de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos (OLIVEIRA, 2010; SANTOS, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS, 2013; CUNHA, 2014; SILVA, 2015; CUNHA, 2015; OLIVEIRA, 2019).

O município de Carira encontra-se em uma região de transição entre o clima tropical com estação seca de verão (As) e o semiárido quente (Bsh), conforme classificação climática de Köppen. A maior parte do seu território apresenta clima As, com seis ou mais meses secos e com temperatura média acima de 18°C durante todo ano, porém no extremo Norte do município, o clima se torna mais árido (ALVARES *et al.*, 2013). Na microbacia do rio Socavão o clima é classificado como As (ALVARES *et al.*, 2013; IBGE, 2019a).

A média anual de precipitação na região é de 715 mm, entretanto o regime pluviométrico é irregular, pois as chuvas iniciam em abril e intensificam-se entre os meses de maio a julho, com precipitações médias próximas a 100 mm/mês. As menores precipitações pluviométricas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, com precipitações inferiores a 40 mm/mês (EMBRAPA, 2016). Além disso, a evapotranspiração potencial excede a precipitação, sendo

¹⁵ O projeto TOPODATA oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas derivadas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para todo o território nacional (VALERIANO, 2005).

observado regime hídrico deficitário na maior parte do ano (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017).

Os solos predominantes na microbacia do rio Socavão em Carira são classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos Eutrófico com caráter abrupício e plintossólico, que ocorrem associados a Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos típicos, Luvisolos Crômicos Pálicos, Neossolos Litólicos Eutróficos, Planossolos Háplicos Eutróficos e Argissolos Amarelos Eutróficos (IBGE, 2019b). Há registro, também, da ocorrência de Cambissolos Háplicos Tb¹⁶ Eutróficos e de Espodossolos Ferrilúvicos Órticos arênicos (LUZ *et al.*, 2012).

A vegetação nativa originária da microbacia do rio Socavão é representada por Savana-Estépica Arborizada (caatinga hipoxerófila), que ocupava aproximadamente 80% da sua área. As demais áreas apresentavam vegetação típica de contato entre Florestal Estacional e Savana-Estépica (IBGE, 2019e). Atualmente, a vegetação remanescente encontra-se fragmentada, ocupando apenas 9% da sua área original (MAPBIOMAS, 2019).

Relevos suaves e suavemente ondulados (SANTOS *et al.*, 2013) predominam na microbacia do rio Socavão, ocupando 78% da sua área, entretanto, o relevo torna-se ondulado, com declividade variando entre 8 e 20%, na porção oeste da microbacia, conforme dados matriciais disponibilizados pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005; INPE, 2019a) e analisados no *software* QGIS 3.6 Noosa.

2.2.2 Universo da pesquisa e seleção dos estabelecimentos rurais

Os lotes dos beneficiários do assentamento rural Edmilson Oliveira¹⁷ foram adotados como menor escala produtiva, por possuírem área aproximada de 14,0 hectares. A monocultura do milho em regime sequeiro é uma atividade recorrente no assentamento (SANTOS, 2013; OLIVEIRA, 2019).

Para avaliar os estabelecimentos rurais com escala de produção superior a 20 hectares, selecionou-se inicialmente 51 imóveis rurais, considerando os dados declarados no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR (SFB, 2019) simultaneamente com a adoção dos seguintes critérios: (i) imóveis rurais com produção de milho em grãos através de sistema

¹⁶ Tb corresponde a argila de atividade baixa, com CTC < 27cmol_c/kg de argila (STRECK *et al.*, 2002).

¹⁷ O assentamento Edmilson Oliveira foi criado em 2002, sendo composto por 40 lotes individuais, apresentando área total aproximada de 830 hectares (INCRA, 2020).

de monocultura; (ii) imóveis abarcados pela microbacia do rio Socavão em percentual não inferior a 90% da sua área total; (iii) estabelecimentos rurais com área total não inferior a 20 hectares, excetuando os lotes do assentamento rural Edmilson Oliveira; (iv) imóvel rural livre de arrendamento.

Para averiguação do atendimento parcial destes critérios foi interpretada visualmente imagem do satélite CBERS 4, sensor MUX, em composição RGB das bandas 4, 3 e 2 em fusão com a imagem da câmera pancromática, ambas com passagem em 05.12.2017. A data da imagem retrata o período pós-colheita, reduzindo assim a confusão entre assinaturas espectrais de culturas perenes e temporárias (DOMPIERI *et al*, 2016). O uso de imagens pretéritas justifica-se nesta fase exploratória devido a área cultivada com milho manter-se relativamente constante nos últimos anos (IBGE, 2019d), servindo de referência para identificação das áreas cultivadas na safra 2019.

Os estabelecimentos rurais pré-selecionados foram visitados para aplicação de questionário (Apêndice A) dirigido ao proprietário ou responsável pelo gerenciamento das atividades agrícolas. Através do questionário foram levantados dados sobre as práticas de manejo do solo, do pacote tecnológico utilizado na lavoura de milho, da acessibilidade às linhas de crédito e assistência técnica, dos canais utilizados para a comercialização da produção e da origem da mão de obra ocupada com a cultura.

No assentamento foi observado o cultivo de milho em 31 lotes, entretanto, nem todos os cultivos foram realizados por assentados, sendo comum o arrendamento das terras no assentamento rural Edmilson Oliveira (SANTOS, 2013; OLIVEIRA, 2019). Além disso, houve dificuldade na localização de alguns beneficiários, enquanto outros não demonstraram interesse em participar da pesquisa. Assim, ao total foram aplicados oito questionários no assentamento rural Edmilson Oliveira. Em relação aos estabelecimentos rurais com escala de produção de milho superior a 20 hectares, foram aplicados 28 questionários a 20 produtores rurais. Totalizando 36 estabelecimentos rurais, que recobrem cerca de 33% da área drenada pela microbacia do rio Socavão, com área individual variando entre 14 e 300 hectares, sendo que 23 possuem área total inferior a um módulo fiscal (70 ha) e apenas um possui área superior a quatro módulos fiscais (SFB, 2019; EMBRAPA, 2020).

Os dados levantados foram compilados e analisados através de análise multivariada de agrupamento (PIMENTEL, 1990) com auxílio do *software* estatístico Past (*Paleontological Statistics*) versão 3.25. A análise de agrupamento hierárquico foi realizada a partir do método da ligação média entre grupos (UPGMA – *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic*

Mean) com base na distância Euclidiana, o que permitiu agrupar os estabelecimentos rurais com base nas suas similaridades produtivas, tendo como fator preponderante a dimensão da área cultivada com milho, que variou entre sete (7) e 250 hectares. Através desta análise foram identificados quatro agrupamentos principais, a partir desta definição procedeu-se à aplicação do sistema APOIA-NovoRural (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003) em um único representante de cada grupo.

Os representantes dos agrupamentos foram denominados como PP1, PP2, PP3 e PA1. A produção agrícola nos estabelecimentos rurais PA1 e PP3 é predominantemente de origem familiar. O estabelecimento rural PA1 localiza-se no assentamento rural Edmilson Oliveira, sendo caracterizado por utilizar sementes transgênicas e híbridos convencionais em uma área de 13 hectares através de preparo convencional do solo, conciliando a produção de milho em grãos e a formação de silagem, mas com ênfase na comercialização dos grãos. Em relação aos demais estabelecimentos rurais PP1, PP2 e PP3, todos cultivam milho transgênico, diferenciando-se na escala de produção. Suas lavouras ocupam cerca de 250 ha, 60 ha e 40 ha, respectivamente. Em relação ao estabelecimento PP3 parte da sua produção é destinada à formação de silagem e o restante comercializado na forma de grãos, diferentemente dos estabelecimentos PP1 e PP2 que produzem exclusivamente milho em grãos.

2.2.3 Indicadores de sustentabilidade

O sistema APOIA-NovoRural é composto por 62 indicadores, tendo como dimensões avaliativas a Ecologia da paisagem, a Qualidade dos compartimentos ambientais (atmosfera, água e solo), os Valores socioculturais e econômicos, bem como a Gestão e Administração rural (Apêndice B). Entretanto, no presente estudo foram avaliados 54 indicadores, pois em oito indicadores foram obtidos dados não confiáveis ou não foi possível coleta-los. Estes indicadores referem-se à proteção de áreas de preservação permanente, regeneração de áreas degradadas e conservação do patrimônio histórico, artístico, arqueológico e espeleológico, e foram excluídos por não terem sua ocorrência relatada pelos produtores rurais. Os três indicadores relacionados a qualidade das águas subterrâneas também não foram analisados pela inexistência de captações nos estabelecimentos rurais avaliados, considerando que as águas subterrâneas de Carira apresentam elevada salinidade, não sendo aptas para o consumo humano e agricultura (CRUZ; RESENDE; AMORIM, 2010). Ademais, os indicadores de acesso a esporte e lazer, de turbidez das águas superficiais, indicada pela concentração de sólidos totais em suspensão não foram

avaliados por contratempos na execução da metodologia proposta pelo sistema APOIA-NovoRural. De modo complementar foi avaliada a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) por estar associada ao processo de salinização das águas superficiais (BAIRD, 2002), contudo este parâmetro não foi considerado na apuração do desempenho do componente ambiental água por não integrar a metodologia do sistema APOIA-NovoRural (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

O sistema APOIA-NovoRural gera um índice de desempenho para cada indicador avaliado, calculado através de uma matriz de ponderação e convertido automaticamente por função de correlação em valor de utilidade em uma escala que varia entre zero (0) e um (1), pior e melhor situação, respectivamente. Por fim, o resultado obtido em cada indicador é comparado a uma linha de base estabelecida pelo sistema em 0,70 (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; MORAIS, 2010), sendo que valores abaixo indicam baixa sustentabilidade, enquanto valores acima revelam maior sustentabilidade (SANTANA, 2019).

Os indicadores referentes a Ecologia da paisagem foram avaliados através das informações oferecidas pelos produtores durante as visitas realizadas nos estabelecimentos rurais no decorrer do ano de 2019. A fim de complementar estas informações, foram utilizados dados matriciais de uso e ocupação da terra do projeto MapBiomass (2019), imagem do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* com passagem em 23.09.2008, e dados vetoriais declarados no SICAR. Para auxiliar na interpretação dos dados matriciais foram coletadas *in loco* informações geográficas através de receptor de Sistema Global de Navegação por Satélite.

Os indicadores da qualidade da atmosfera foram avaliados considerando o tempo e a escala espacial da ocorrência das emissões e na avaliação sensorial da magnitude do impacto. Procedimento similar foi adotado por (DEMATTE FILHO *et al.*, 2014).

Adotou-se o curso do rio Socavão como escala de avaliação da componente água, considerando que as águas da microbacia convergem para seu leito, permitindo que possíveis impactos acumulativos da atividade agrícola sejam revelados. As coletas de água superficial ocorreram em dois pontos do rio Socavão logo após a estação chuvosa (mês de agosto). No mês antecedente as coletas, choveu cerca de 224 mm na região (INMET, 2019). O primeiro ponto de amostragem localiza-se na região central da microbacia na Reserva Legal do assentamento rural Edmilson Oliveira, enquanto o segundo localiza-se no seu exutório, indicado pela latitude 10° 19' 0,5'' Sul e longitude 37° 35' 20'' Oeste (Datum SIRGAS 2000). Uma terceira amostra foi coletada durante a estação seca na represa (ambiente lântico) construída em tributário efêmero do rio Socavão, localizada no assentamento Edmilson Oliveira.

A partir das amostras coletadas no rio Socavão foram analisados os parâmetros: pH, condutividade elétrica, nitrato (NO_3^-), fosfato reativo solúvel, clorofila-a e sólidos totais dissolvidos, enquanto que o oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes foram analisados com base na coleta realizada na represa do assentamento Edmilson Oliveira. Todas as amostras foram determinadas em laboratório seguindo os protocolos do *Standard Methods* (APHA, 2017). A poluição visual das águas superficiais foi avaliada de modo sensorial, enquanto o impacto potencial de pesticidas foi avaliado com base nos valores encontrados por Amorim *et al.* (2014) e Amorim *et al.* (2016), que avaliaram a presença de pesticidas nas águas superficiais do assentamento Edmilson Oliveira.

As amostras de solo foram coletadas ao final do ciclo da cultura em estabelecimentos rurais que cultivaram o milho em sistema convencional e, posteriormente, encaminhadas para análise laboratorial. Além disso, foram realizadas observações *in situ* para avaliar a ocorrência de processos erosivos.

As amostras de solo e água foram coletadas de forma a retratar áreas sob menor e maior influência da cultura do milho na microbacia do rio Socavão. Os indicadores das demais dimensões (Valores socioculturais, Valores econômicos e Gestão e Administração rural) foram avaliados basicamente através das informações repassadas pelos proprietários ou responsáveis pelo gerenciamento das atividades agrícolas, observando os protocolos propostos por Rodrigues, Moreira e Martínez (2007).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Dimensão Ecologia da paisagem

Os resultados do índice oscilaram entre 0,39 e 0,65, sendo que o maior índice foi obtido pelo estabelecimento rural PP3, enquanto o menor pelo estabelecimento PP1 (Quadro 2.1). Os valores abaixo da linha de referência (0,70) na dimensão Ecologia da paisagem derivam, sobretudo da baixa diversidade produtiva e da paisagem. Resultado similar foi observado por Araujo (2018), que encontrou índices nesta dimensão variando entre 0,49 e 0,56 ao avaliar a sustentabilidade da produção de milho em estabelecimentos familiares localizados em assentamentos rurais no semiárido de Sergipe, reforçado pelo estudo de Santana (2019) que observou a homogeneização da paisagem em decorrência da monocultura do milho.

Quadro 2.1 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Ecologia da paisagem, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Ecologia da Paisagem	Estabelecimentos rurais			
Indicador	PP1¹	PP2²	PP3³	PA1⁴
Fisionomia e conservação dos habitats naturais	0,52	0,62	0,64	0,62
Diversidade e condição de manejo das áreas de produção agropecuária	0,63	0,64	0,74	0,64
Diversidade e condição de manejo das atividades não agrícolas e confinamento animal	0,49	0,49	0,81	0,74
Cumprimento com requerimento de Reserva Legal	0,00	0,70	0,70	0,94
Corredores de fauna	0,00	0,00	0,70	0,70
Diversidade da paisagem	0,00	0,00	0,28	0,15
Diversidade produtiva	0,00	0,00	0,34	0,15
Incidência de focos de vetores de doenças endêmicas	0,70	0,70	0,70	0,70
Risco de extinção de espécies ameaçadas	0,54	0,54	0,54	0,54
Risco de incêndio	1,00	1,00	1,00	1,00
Risco geotécnico	0,45	0,58	0,69	0,45
Índice de desempenho	0,39	0,48	0,65	0,60

Escalas de produção da cultura do milho: (¹) 250 ha; (²) 60 ha; (³) 40 ha; (⁴) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

Para o indicador fisionomia e conservação dos habitats naturais do estabelecimento rural, o PP1 obteve o menor valor, considerando que parte da vegetação nativa deste estabelecimento (10 ha) foi suprimida para expandir a área cultivada com milho. Os estabelecimentos rurais PA1 e PP2 apresentam sua vegetação nativa suprimida integralmente em período anterior a conversão do uso do solo para o cultivo de milho, não possuindo remanescentes de vegetação nativa. Suas áreas são destinadas exclusivamente ao cultivo do milho em sistema de monocultura. Em contrapartida, o estabelecimento rural PP3 obteve maior valor por apresentar fragmentos remanescentes de vegetação nativa (caatinga hipoxerófila).

Quanto ao indicador diversidade e condição de manejo das áreas de produção agropecuária foi verificado nos estabelecimentos rurais PP1 e PP2, a concentração da produção agrícola na cultura do milho. Cultivado em áreas anteriormente ocupadas pela pecuária extensiva e a cultura do feijão. Estima-se que a expansão do cultivo do milho no Sertão Ocidental de Sergipe absorveu 48 mil hectares da cultura do feijão (CUENCA; DOMPIERI; SANTOS, 2016). Nos estabelecimentos PP3 e PA1 foi verificada uma maior diversificação da produção agrícola, com o plantio de palma forrageira (*Opuntia* sp.), feijão e macaxeira no

estabelecimento rural PA1, bem como a produção de silagem de milho em ambos os estabelecimentos.

No indicador diversidade e condição de manejo das atividades não agrícolas e confinamento animal, as propriedades PP1 e PP2 obtiveram valor abaixo da linha base por desempenharem exclusivamente atividades agrícolas. Com relação às propriedades PP3 e PA1, os valores ficaram acima da linha base por desenvolverem a pecuária, sobretudo leiteira.

O indicador de cumprimento com o requerimento de Reserva Legal obteve valor igual a 0,70 para os estabelecimentos PP2 e PP3 por estarem isentos desta obrigação de acordo com o atual Código Florestal, apesar de não disporem de remanescente de vegetação nativa ocupando 20% da área do imóvel (BRASIL, 2012). O estabelecimento PP1 obteve valor zero, pela necessidade de restaurar ou recompor integralmente a sua Reserva Legal. Tal necessidade justifica-se pelo detentor do imóvel dispor de outra propriedade contínua ao estabelecimento rural PP1, devendo unificá-las no SICAR a fim de compor um único imóvel rural com área superior a quatro módulos fiscais, o que implica na necessidade de restaurar a Reserva Legal ou compensá-la por outra área localizada no bioma Caatinga (MMA, 2014; BRASIL, 2012). O estabelecimento rural PA1 obteve o maior valor (0,94) por localizar-se no assentamento Edmilson Oliveira, que apresenta Reserva Legal constituída de forma coletiva. Porém, seu estado de conservação merece atenção, pela presença recorrente de animais domésticos pastejando no seu interior, conforme observado na pesquisa e relatado por produtores do assentamento.

Não foram identificadas áreas consideradas como de preservação permanente nos estabelecimentos rurais conforme o Código Florestal (BRASIL, 2012), portanto este indicador não foi avaliado. Porém, foi observado o cultivo de milho em planícies de inundação e em canais efêmeros que não são considerados como área de preservação permanente. A exploração agrícola não é recomendada nestas áreas devido sua susceptibilidade a alagamento, o que inclusive causou perdas de produção na safra de 2019 pelas chuvas concentradas ocorridas nos meses de junho e julho.

O estabelecimento rural PP3 possui 2,0 hectares de vegetação nativa em dois fragmentos distintos, que devido ao seu isolamento tornam-se ilhas de diversidade, cercadas por uma matriz de baixa complexidade (DEBINSK; HOLT, 2000 *apud* SILVA *et al.*, 2013). Apesar disso, o estabelecimento PP3 obteve valor 0,70, considerando que a metodologia do sistema APOIA-NovoRural analisa a presença de corredores ecológicos somente na propriedade avaliada, desconsiderando o contexto regional.

Neste sentido, verifica-se que a vegetação nativa remanescente na microbacia do rio Socavão encontra-se pulverizada em 142 manchas, ocupando aproximadamente 690 hectares, sendo que 84% destes fragmentos possuem área inferior a 3,0 hectares (MAPBIOMAS, 2019). Destaca-se que fragmentos menores são mais susceptíveis ao efeito de borda, que modifica a composição florística original, favorecendo a invasão de espécies típicas de áreas abertas, adaptadas a maior luminosidade (MAGNUS; CACERES, 2012). Apenas 11 manchas possuem área superior a 10 hectares na microbacia do rio Socavão. Elas concentram 74% da vegetação nativa remanescente (MAPBIOMAS, 2019), o que demonstra o elevado grau de fragmentação da cobertura florestal na microbacia do rio Socavão. A Reserva Legal do assentamento Edmilson Oliveira compõe o maior fragmento remanescente de vegetação nativa, ocupando cerca de 195 hectares (MAPBIOMAS, 2019), servindo de refúgio à fauna silvestre. Além de propiciar o fluxo de animais e de sementes (SILVA *et al.*, 2013).

Quanto ao indicador sobre a incidência de focos de vetores de doenças endêmicas foi relatado o aumento passageiro da população de ratos silvestres nas plantações após a colheita, devido à maior oferta de alimento, sobretudo, nas lavouras onde não há aproveitamento imediato dos restos culturais, porém, por se tratarem de animais silvestres o contato com humanos é incomum, conforme os produtores.

O indicador relacionado ao risco de extinção de espécies ameaçadas atingiu o valor de 0,54. A perda de habitat e a intensa pressão de caça nos fragmentos remanescentes de vegetação nativa influenciaram na determinação de valor abaixo da linha base definida pelo sistema (0,70). Os produtores relataram o desaparecimento e a redução de algumas espécies na região, apontando a caça como principal causa. Historicamente a caça de subsistência constitui-se em importante fonte de proteína às famílias do semiárido nordestino, sendo comum também a perseguição e morte de animais pelo risco que oferecem a saúde dos sertanejos e as criações domésticas, e por causarem prejuízos aos agricultores (ALVES; GONÇALVES; VIEIRA, 2012; MENDONÇA *et al.*, 2011).

Três espécies de mamíferos com ocorrência em Carira constam na lista da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, o *Kerodon rupestris* (mocó), *Callicebus barbarabrownae* (guigó-da-caatinga) e o *Tolypeutes tricinctus* (tatu-bola). As principais ameaças sofridas por estas espécies derivam da pressão exercida pela caça e a perda *habitat*, que faz com que a fauna silvestre migre para outras áreas, além de provocar erosão genética (OLIVEIRA *et al.*, 2003; ICMBIO, 2018). Segundo Chiarello (2009) a riqueza de espécies de mamíferos parece estar fortemente relacionada ao tamanho da área de *habitat* remanescente. Portanto, a monocultura

do milho, ocupando extensas áreas, altera a paisagem da microbacia do rio Socavão tornando-a mais homogênea, o que não favorece o restabelecimento da fauna silvestre e pode gerar um fluxo de migração de fauna para os fragmentos remanescentes de vegetação nativa, o que tende a concentrar a caça nestes locais.

Observou-se nos estabelecimentos rurais a eliminação do uso intencional do fogo, considerando que o preparo do solo para plantio ocorre de forma mecanizada e que os resíduos da cultura são destinados à alimentação de ruminantes. Estas medidas garantiram aos estabelecimentos rurais avaliados, valores acima da linha base (0,70) para o indicador risco de incêndio. Quanto ao risco geotécnico foram observadas evidências de processos erosivos nos estabelecimentos rurais PP1, PP2 e PA1, com risco associado de assoreamento da rede de drenagem e de surgimento de erosão em sulcos, com exceção do estabelecimento rural PP2, que apresenta relevo suave. Os baixos valores obtidos nos indicadores diversidade da paisagem e produtiva, justificam-se pela baixa biodiversidade ecológica e a concentração das atividades produtivas na produção de milho. Os estabelecimentos rurais PP3 e PA1 apresentaram melhor desempenho em relação aos estabelecimentos PP1 e PP2, sobretudo pela maior conservação de habitats naturais e por conciliarem atividades agrícolas com a criação de gado leiteiro.

2.3.2 Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais

A dimensão qualidade dos compartimentos ambientais é composta pelos componentes atmosfera, água e solo. Nesta dimensão foram analisados 26 indicadores, sendo dez (10) para a componente água, seis (6) para a atmosfera e dez (10) para o solo.

2.3.2.1 Atmosfera

O uso intensivo de máquinas agrícolas na região é recente e advém da exploração da cultura do milho mecanizada, conforme relato dos produtores. Portanto, o emprego da mecanização agrícola foi apontado como o maior determinante do nível de emissão de ruídos e poluentes atmosféricos, enquanto o uso de produtos químicos, especialmente, pesticidas foi associado a elevação da emissão de odores à atmosfera, bem como o semiconfinamento de gado leiteiro.

Os índices de desempenho ambiental do compartimento atmosfera apresentaram pouca oscilação, variando entre 0,63 e 0,72. Apenas um estabelecimento rural ficou abaixo da linha de referência (0,7) adotada pelo sistema APOIA-NovoRural. Justamente, o estabelecimento que apresenta a maior área cultivada com milho, 250 hectares (PP1). Este estabelecimento por cultivar milho em escala superior apresenta níveis de emissões atmosféricas e de ruídos mais elevados pela intensificação do uso de máquinas agrícolas e, conseqüentemente, maior consumo de combustíveis fósseis. O melhor desempenho foi obtido pelo estabelecimento rural PA1, que apresenta menor área de cultivo, demandando menor intensidade de máquinas e combustíveis para o plantio, manejo e colheita da lavoura. Os estabelecimentos rurais PP2 e PP3 obtiveram valores similares, respectivamente 0,70 e 0,71 (Quadro 2.2).

De um modo geral os estabelecimentos rurais avaliados apresentaram índices satisfatórios, com média de 0,69, valor próximo à linha de referência do sistema (0,70) e ao valor médio de 0,67 encontrado por Pereira (2008) ao avaliar a sustentabilidade de estabelecimentos familiares ligados a produção de hortifrutigranjeiros. Porém, os índices encontrados na presente pesquisa são inferiores ao valor médio de 0,85 encontrado por Araujo (2018) ao estudar a exploração da cultura de milho em assentamentos rurais no semiárido de Sergipe, bem como ao valor médio de 0,82 obtido por Pereira (2013) ao analisar a sustentabilidade de sistemas agrícolas de base ecológica e, também, abaixo do índice de 0,77 encontrado por Rodrigues *et al.* (2003) ao avaliar o impacto ambiental em atividades hortícolas de cunho familiar.

Quadro 2.2 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – atmosfera, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Compartimento ambiental – atmosfera	Estabelecimento rural			
Indicador	PP1¹	PP2²	PP3³	PA1⁴
Partículas em suspensão/fumaça	0,73	0,73	0,73	0,76
Odores	0,74	0,74	0,74	0,75
Ruído	0,73	0,74	0,74	0,74
Óxidos de carbono/ hidrocarbonetos	0,53	0,67	0,69	0,70
Óxidos de enxofre	0,53	0,67	0,69	0,70
Óxidos de nitrogênio	0,53	0,67	0,69	0,70
Índice de desempenho	0,63	0,70	0,71	0,72

Escalas de produção da cultura do milho: (1) 250 ha; (2) 60 ha; (3) 40 ha; (4) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

Apesar dos estabelecimentos rurais avaliados terem apresentado índices próximos a linha de base estabelecida pelo sistema APOIA-NovoRural não é possível assegurar que a expansão da agricultura intensiva na microbacia do rio Socavão proporcione melhora à qualidade do ar, considerando que a atividade está intimamente associada a queima de combustíveis fósseis e a volatilização de amônia, que liberam para a atmosfera gases causadores de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O). Este último, deriva-se, sobretudo da prática de fertilização nitrogenada e caracteriza-se por apresentar elevado potencial de aquecimento global, equivalente a 298 moléculas de CO_2 , além de persistir na atmosfera por mais de 114 anos (SIGNOR; CERRI, 2013; ALVES *et al.*, 2012). Na agricultura são estimadas perdas médias de nitrogênio por volatilização entre 20 a 30% da quantidade aplicada de fertilizantes nitrogenados (SILVA *et al.*, 2017).

As emissões atmosféricas de metano (CH_4) em Carira elevaram-se simultaneamente com a expansão da cultura do milho devido a fermentação entérica¹⁸, considerando que o rebanho bovino passou de 27 mil cabeças em 2003 para cerca de 48 mil cabeças em 2012. Este crescimento vertiginoso, aparentemente, apoiou-se na maior oferta de silagem de milho, entretanto, a partir de 2012, o rebanho passou a reduzir-se atingindo seu nível mais baixo em 2018, com 36.562 cabeças (IBGE, 2019c).

A agricultura moderna se apresenta como alternativa à mitigação do efeito estufa, para tanto, é essencial o emprego da tecnologia do plantio direto associado a sistemas de rotação de culturas para acelerar o aumento do estoque de carbono orgânico no solo e diminuir a emissão de CO_2 para atmosfera (LA SACALA JUNIOR; FIGUEIREDO; PANOSO, 2012). No semiárido esta tecnologia ainda não é utilizada plenamente devido à existência de limitações edafoclimáticas, que restringem a produção de fitomassa e aceleram a decomposição dos resíduos culturais em razão das elevadas temperaturas (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017). Logo, a agricultura desenvolvida na microbacia do rio Socavão não favorece o sequestro de CO_2 no solo em decorrência do revolvimento excessivo e recorrente do solo através de práticas convencionais de manejo, amplamente difundidas na região.

Os produtores atribuem o cultivo intensivo do milho como fator preponderante à redução da emissão de CO_2 na região, indicando que a mecanização agrícola substituiu o emprego do fogo como prática de preparo do solo. Entretanto, ao analisar os dados do programa

¹⁸ Refere-se ao processo digestivo que ocorre no rúmen de herbívoros ruminantes que resulta na liberação de metano (CH_4) para atmosfera (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012).

de monitoramento de focos de calor realizado pelo INPE¹⁹, observa-se que historicamente o uso do fogo não se constitui em prática recorrente na microbacia do rio Socavão, considerando que apenas 38 focos de calor foram detectados entre os anos de 1999 e 2019 (INPE, 2019b). Logo, não existem evidências de que a mecanização agrícola tenha contribuído sensivelmente para a redução das emissões de CO₂, considerando que o uso do fogo no bioma Caatinga geralmente está associado ao desmatamento da vegetação nativa (VASCONCELOS *et al.*, 2011).

2.3.2.2 Água

A avaliação da qualidade da água superficial atingiu índice de desempenho ambiental de 0,62, portanto, abaixo da linha de base estabelecida pelo sistema, considerando que os parâmetros nitrato, condutividade elétrica e impacto potencial de pesticidas obtiveram valores críticos, próximos a zero (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – água, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Indicadores do compartimento ambiental – Água (superficial)	Valor
Oxigênio dissolvido	0,85
Coliformes fecais	0,86
DBO ₅	0,85
pH	0,99
Nitrato	0,00
Fosfato	1,00
Clorofila a	1,00
Condutividade elétrica	0,02
Poluição visual da água	0,63
Impacto potencial de pesticidas	0,05
Índice de desempenho	0,62

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

¹⁹ O programa Queimadas desenvolvido pelo INPE monitora a ocorrência de focos de calor em todo território nacional partir de imagens orbitais geradas por sensores óticos, capazes de captar a radiação eletromagnética na faixa termal-média de 3,7 a 4,1 µm (TOMZHINSKI; COURA; FERNANDES, 2011).

As águas do rio Socavão são consideradas salobras por terem apresentado salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ (BRASIL, 2005), visto que a condutividade elétrica obtida nas amostras coletadas no rio Socavão variaram entre 23,35 e 31,38 dS.m⁻¹. De acordo com Amorim *et al.* (2016) valores de condutividade elétrica acima de 12 dS.m⁻¹ tornam as águas impróprias para dessedentação animal devido a sua altíssima salinidade, enquanto valores acima de 3,0 dS.m⁻¹ impõem severas restrições à irrigação de culturas agrícolas (CRUZ; RESENDE; AMORIM, 2010).

A presença de elevados teores de sólidos dissolvidos totais (SDT) entre 13.080 e 17.570 mg.L⁻¹, podem indicar a presença de sais e contaminantes lançados no curso de água em decorrência de processos erosivos (GENEROSO, 2010). Valores de SDT acima de 10.000 mg.L⁻¹ são considerados limitantes à dessedentação animal (AMORIM *et al.*, 2016).

No período seco foram detectados 790 coliformes termotolerantes por 100 mL (UFC.100mL⁻¹) na água da barragem do assentamento Edmilson Oliveira. Valor abaixo do limite estabelecido na legislação ambiental brasileira para águas salobras de classe 3, definido em 4.000 UFC.100mL⁻¹ (BRASIL, 2005).

As águas do rio Socavão são consideradas duras por apresentarem pH acima de 7,0 (BAIRD, 2002). Os valores encontrados de pH entre 7,87 e 7,96 estão em conformidade com os limites descritos na legislação brasileira para águas salobras (BRASIL, 2005). Porém, alterações significativas nos valores de pH não estão associadas à agricultura, mas sim, a despejos industriais (DERÍSIO, 2000), que não ocorrem na área do estudo.

No exutório da microbacia foi encontrada concentração máxima de nitrato (NO₃⁻) equivalente a 3,95 mg.L. Este valor está em desconformidade com a resolução CONAMA n° 357/2005, que fixa em 0,40 mg.L o limite máximo de NO₃⁻ em águas salobras de Classe 1. Para as águas de Classe 2 são admitidos valores até 0,70 mg.L (BRASIL, 2005). Foi observado um aumento gradual da concentração de NO₃⁻ ao longo da rede de drenagem, o que aparentemente está associado aos impactos acumulativos decorrentes das atividades agrícolas previstos por Sanchez (2008). A presença de NO₃⁻ nas águas superficiais de áreas agrícolas também foi evidenciado por Capoane *et al.* (2015) e Garcia-Garizábal *et al.* (2012).

A elevada concentração de NO₃⁻ encontrada na microbacia associa-se ao uso de fertilizantes, considerando que a adubação nitrogenada se constitui em importante fonte de contaminação das águas, especialmente, nos meses mais chuvosos devido aos efeitos da erosão hídrica, que transporta sedimentos e fertilizantes para os mananciais (ALVES *et al.*, 2008;

RESENDE, 2002; PINHEIRO *et al.*, 2013; CAPOANE *et al.*, 2015). As fertilizações nitrogenadas inadequadas geram desequilíbrios entre a quantidade disponível no solo e a capacidade de absorção e assimilação das plantas, favorecendo a lixiviação do íon nitrato (VASCONCELOS *et al.*, 2012; RESENDE, 2002).

A elevação dos teores de NO_3^- é indicativo de risco potencial para a presença de outras substâncias indesejáveis na água, como pesticidas que possivelmente comportam-se de forma análoga ao NO_3^- (NUGENT *et al.*, 2001 *apud* RESENDE, 2002).

Neste contexto, foram detectadas na barragem do assentamento rural Edmilson Oliveira, concentrações de atrazina variando entre 1,4 a 16,2 $\mu\text{g/L}^{-1}$ na estação chuvosa dos anos de 2014 e 2015 (AMORIM *et al.*, 2016), enquanto no período seco dos anos de 2013 e 2014 a concentração de atrazina variou entre 0,44 a 1,04 $\mu\text{g/L}^{-1}$ (AMORIM *et al.*, 2016; AMORIM *et al.*, 2014). A atrazina é considerada um produto medianamente tóxico (ANVISA, 2019), sendo altamente persistente no meio ambiente e altamente tóxico para algas (OLIVEIRA, 2008). A concentração máxima da atrazina em corpos d'água não deve exceder a 2,0 $\mu\text{g/L}^{-1}$ (BRASIL, 2005). Silva (2015) relata que a população rural de Carira é receosa em utilizar as águas dos tanques escavados devido a contaminação por pesticidas.

A ausência de vegetação ciliar simultaneamente ao uso de práticas inadequadas de manejo do solo, como o plantio morro abaixo, podem estar intensificado o processo de contaminação das águas da microbacia do Socavão, considerando que a vegetação ciliar reduz a concentração de NO_3^- que chega aos mananciais (EMMETT *et al.*, 1994). Além disso, a mata ciliar é capaz de transformar os resíduos de pesticidas em componentes não tóxicos através de decomposição microbiológica, oxidação, redução, entre outros processos que ocorrem no piso florestal (SIMÕES, 2001). A vegetação ciliar também auxilia na contenção de sedimentos erodidos, impedindo que cheguem aos mananciais, evitando seu assoreamento e reduzindo a turbidez da água (MARMONTEL; RODRIGUES, 2015).

Observações realizadas durante a pesquisa corroboram para a importância da conservação das matas ciliares, considerando que as águas que banham a microbacia do rio Socavão encontravam-se turvas pela ação de agentes erosivos. A ausência de vegetação ciliar e a maior exposição dos solos acentuam os processos erosivos, especialmente, no preparo do solo para o plantio e na fase inicial da cultura devido a aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas. Os processos erosivos são agravados pela inobservância de práticas conservacionistas do solo, considerando que todos os entrevistados não realizam o plantio em

nível, tampouco, desenvolvem ações de proteção e recuperação de matas ciliares e nascentes, o que acaba por impactar negativamente sobre a qualidade da água da microbacia.

Em relação a poluição visual foi observado a presença de resíduos plásticos às margens do rio Socavão, sendo definida a abrangência do impacto como local, por afetar apenas o próprio sítio e suas imediações.

Os parâmetros fosfato, OD, DBO e clorofila-a estão dentro da normalidade e atendem a legislação ambiental brasileira (BRASIL, 2005). As baixas concentrações de fósforo (0,02 mg P-PO₄.L) justificam-se pela forte retenção do fosfato pelas partículas do solo (REZENDE, 2002), enquanto que concentrações adequadas de OD (6,57 mg O₂/L⁻¹), DBO (3,2 mg O₂/L⁻¹) e clorofila-a (3,86 µg/L) indicam a inócorência de processo de eutrofização (BRASIL, 2005; BAIRD, 2002), que pode estar sendo inibido na barragem do assentamento rural Edmilson Oliveira pela presença do pesticida atrazina (AMORIM *et al.*, 2016; AMORIM *et al.*, 2014), que tem efeito tóxico em algas e plantas aquáticas (SENE *et al.*, 2010).

Os parâmetros OD, fosfato, DBO e clorofila-a apresentaram melhor desempenho ambiental para a componente água, com valores acima de 0,85. Entretanto, não há evidências que este desempenho esteja associado a melhora da qualidade da água propiciada pela monocultura do milho. Especialmente, da forma como veem sendo exercida na microbacia do rio Socavão, através do preparo convencional do solo com aplicação intensiva de fertilizantes e defensivos químicos, geralmente, sem acompanhamento técnico.

2.3.2.3 Solo

Os resultados do índice de desempenho do componente ambiental solo oscilaram entre 0,56 e 0,68, sendo que o maior índice foi obtido pelo estabelecimento rural PP3, enquanto o menor pelo estabelecimento PP1. Os estabelecimentos PP2 e PA1 obtiveram índices de 0,67 e 0,63, respectivamente (Quadro 2.4).

Os estabelecimentos rurais avaliados apresentam teores de matéria orgânica variando entre 1,66 a 2,53 dag/kg⁻¹, sendo que os maiores valores foram encontrados nos estabelecimentos rurais PP1 e PA1. Segundo Sobral *et al.* (2015) teores de matéria orgânica entre 1,50 e 3,00 dag/kg⁻¹ são considerados médios. Os valores médios de matéria orgânica podem estar associados ao preparo convencional do solo e ao aproveitamento dos resíduos

culturais, que acentuam a exposição do solo à radiação solar acelerando o processo de oxidação da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2011; POSSENTI *et al.*, 2007; LEPSCH, 2010).

Os valores de pH do solo variaram entre 4,2 a 5,5 nos estabelecimentos rurais avaliados, sendo que nos estabelecimentos PA1 e PP1 os valores foram inferiores a 5,0, considerados baixos por Sobral *et al.* (2015). No estabelecimento rural PP1 não deve ser descartada a realização de calagem para a correção do solo por apresentar acidez trocável (Al^{+3}) equivalente a $0,50 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) de $7,90 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e baixo índice de saturação de bases (V).

Quadro 2.4 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Qualidade dos compartimentos ambientais – solo, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Compartimento ambiental - Solo	Estabelecimento rural			
Indicador	PP1 ¹	PP2 ²	PP3 ³	PA1 ⁴
Matéria orgânica	0,87	0,37	0,54	0,93
pH	0,78	0,99	0,99	0,59
Fósforo (P)	0,59	0,58	0,15	0,37
Potássio trocável (K^+)	0,85	0,79	0,87	0,81
Magnésio trocável (Mg^{2+})	0,46	0,76	1,00	0,95
Acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$)	0,00	0,41	0,37	0,20
Soma de bases (S)	0,33	0,74	0,81	0,68
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	0,98	0,94	0,96	0,96
Saturação de bases (V)	0,13	0,45	0,46	0,31
Erosão (laminar e linear)	0,57	0,61	0,64	0,53
Índice de desempenho	0,56	0,67	0,68	0,63

Escala de produção da cultura do milho: (1) 250 ha; (2) 60 ha; (3) 40 ha; (4) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

Os teores de fósforo variaram entre 2,73 e 16,34 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$, sendo que o menor valor foi encontrado no estabelecimento rural PP3 (2,73 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$). Portanto, neste estabelecimento rural há necessidade de adubação fosfatada para o cultivo de milho com alta produtividade, considerando que em solos com textura média, teores de fósforo abaixo de 7,0 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ são considerados baixos (SOBRAL *et al.*, 2015). A adubação fosfatada é necessária em culturas agrícolas, pois melhora a eficiência no uso da água ao promover a formação e o crescimento do sistema radicular (LEITE; GOMES, 2012).

Os valores elevados de fósforo encontrados nos estabelecimentos rurais PP1 e PP2, acima de $15,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ são classificados como adequados por Sobral *et al.* (2015) e, provavelmente, estão associados a aplicação de dosagens mais elevadas de adubos fosfatados, considerando que a adubação mineral altera os atributos químicos do solo (NOGUEIRA; VASCONCELLOS; JUNIOR, 2013). O impacto da influência antrópica na fertilidade química do solo é claramente perceptível no estabelecimento PP1, que obteve teor de fósforo equivalente a $16,34 \text{ mg.dm}^{-3}$, enquanto em área adjacente de mata nativa foram encontrados valores inferiores a $2,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Apêndice D).

Foram encontrados teores elevados de potássio trocável (K^+), acima de 100 mg.dm^{-3} , em todos os estabelecimentos avaliados. Conforme Sobral *et al.* (2015) teores de K^+ acima de 60 mg.dm^{-3} são classificados como altos e indicam a presença de minerais primários e solos mais jovens, que sofreram menor intemperismo. Os teores de magnésio trocável (Mg^{2+}) oscilaram entre 0,24 a $1,00 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Valores inferiores a $0,40 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são classificados como baixos (SOBRAL *et al.*, 2015) e foram encontrados apenas no estabelecimento rural PP1, que também foi o único a apresentar teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) inferior a $1,6 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, valor considerado baixo por Sobral *et al.* (2015).

Foram encontrados valores médios de CTC variando entre 6,33 a $9,69 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, logo não é necessário o parcelamento da adubação nitrogenada para evitar perdas por lixiviação. O parcelamento é recomendado apenas para solos com CTC inferior a $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (SOBRAL *et al.*, 2015).

Os estabelecimentos rurais PP2 e PP3 possuem solos com caráter eutrófico por apresentarem índice de saturação de bases acima de 50%, enquanto os estabelecimentos PP1 e PA1 apresentam valores de 18,44% e 38,96%, respectivamente, considerados baixos por Sobral *et al.* (2015).

Nos quatro estabelecimentos rurais avaliados foram evidenciados processos de erosão hídrica (laminar e linear), tendo como provável causa o preparo convencional do solo e o plantio morro abaixo, sendo observado evidências de erosão em sulcos nos estabelecimentos PP1 e PA1 devido a maior declividade do terreno.

Os solos da microbacia do rio Socavão são jovens e geralmente, apresentam caráter eutrófico devido ao seu material de origem ser constituído por rochas metamórficas e por serem pouco intemperizados (JACOMINE *et al.*, 1975; IBGE, 2019b). Porém, a extração de nutrientes pelo cultivo recorrente do milho pode ter contribuído para a redução dos teores de magnésio e

cálcio nos estabelecimentos rurais PP1 e PA1. Estes nutrientes são extraídos através dos grãos e pela parte vegetativa da planta, que contém parcela substancial do cálcio absorvido pelas plantas (SOBRAL, 2016). Estimam-se extrações médias de 17 kg/ha^{-1} de cálcio e magnésio no cultivo de milho destinado à produção de grãos com produtividade média de 5.800 kg/ha^{-1} , enquanto que na produção de silagem é estimada a perda de 41 kg/ha^{-1} de cálcio e 28 kg/ha^{-1} de magnésio, considerando uma produtividade de $15,31 \text{ t/ha}^{-1}$ (COELHO; FRANÇA, 1995). A incorporação dos restos culturais devolve grande parcela de nutrientes ao solo, sobretudo cálcio. Todavia, quando o milho é colhido para silagem ou quando os resíduos são destinados ao pastejo de ruminantes, a ciclagem de nutrientes é impedida ocorrendo alta extração e exportação de nutrientes (COELHO, 2006).

A análise química do solo revela que o menor índice de desempenho ambiental foi obtido pelo estabelecimento rural PP1 (0,56) por apresentar solo com maior acidez, presença de caráter distrófico e teores baixos de cálcio e magnésio trocáveis, o que torna necessário a correção e o aporte de fertilizantes no solo para garantir produtividade elevada à cultura do milho. Nos demais estabelecimentos rurais avaliados os atributos químicos não fornecem limitações à produção agrícola. Porém para a produção de milho com alto rendimento são necessárias adubações químicas, especialmente nitrogenadas.

O manejo convencional do solo com grade aradora pode estar contribuindo para a redução da matéria orgânica e o carreamento de nutrientes para os cursos d'água. Os elevados valores de salinidade e sólidos dissolvidos totais (SDT) encontrados nas águas do rio Socavão corroboram para este entendimento, bem como o estudo de Araujo (2018) que observou impactos similares no solo, devido a utilização de práticas agrícolas não conservacionistas no cultivo de milho.

Além disso, o cultivo recorrente de milho tem ocasionado a extração e exportação de nutrientes do solo. Este processo é agravado no cultivo destinado à produção de silagem e pelo aproveitamento dos restos culturais para alimentação animal. Portanto, devem ser avaliadas fontes alternativas à nutrição dos rebanhos, considerando a importância da ciclagem dos nutrientes para a manutenção da qualidade do solo. Há estudos que apontam como alternativa para elevação da produção de fitomassa o consórcio do milho com gramíneas forrageiras (SILVA *et al.*, 2008; PONTE FILHO, 2018) e o plantio de sorgo forrageiro (PERAZZO *et al.*, 2013).

2.3.3 Dimensão Valores Socioculturais

A dimensão Valores socioculturais foi avaliada nos estabelecimentos rurais PP1 e PP2 considerando apenas às questões sociais dos trabalhadores permanentes e temporários residentes no local, uma vez que os responsáveis não residem no meio rural, diferentemente dos produtores rurais dos estabelecimentos PP3 e PA1, que residem no local.

Os índices de desempenho obtidos apresentaram pequena variação entre 0,61 e 0,66, situando-se abaixo da linha de referência (0,70). Os melhores resultados foram obtidos nos estabelecimentos rurais PP1 e PP2, que apresentam maior escala de produção e empregam maior nível de tecnologia, com predomínio de mão de obra assalariada e com maior qualificação técnica (Quadro 2.5).

Quadro 2.5 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Valores socioculturais, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Valores Socioculturais	Estabelecimentos			
Indicador	PP1¹	PP2²	PP3³	PA1⁴
Acesso à educação	0,71	0,71	0,71	0,70
Acesso a serviços básicos	0,72	0,74	0,72	0,72
Padrão de consumo	0,63	0,63	0,78	0,70
Qualidade do emprego	0,48	0,48	0,37	0,30
Segurança e saúde ocupacional	0,55	0,55	0,53	0,53
Oportunidade de emprego/ ocupação local qualificada	0,87	0,86	0,79	0,71
Índice de desempenho	0,66	0,66	0,65	0,61

Escala de produção da cultura do milho: (¹) 250 ha; (²) 60 ha; (³) 40 ha; (⁴) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

O indicador acesso à educação obteve valores iguais ou próximos à linha de base em todas os estabelecimentos rurais avaliados, considerando a existência de escola de ensino básico na zona rural e de transporte escolar municipal para os alunos do ensino médio. Alguns trabalhadores afirmaram ter participado de cursos de curta duração, ministrados por instituições privadas e públicas, como as ações de pesquisa e extensão rural desenvolvidas pela Embrapa no assentamento rural Edmilson de Oliveira, o que é reforçado por Oliveira *et al.* (2008).

Os estabelecimentos rurais avaliados obtiveram valores acima de 0,70 para o indicador acesso a serviços básicos, considerando que a microbacia do rio Socavão conta com serviços básicos de água potável, energia elétrica e telefonia móvel, e que sua proximidade com a sede

municipal de Carira garante acesso a saúde e aos demais serviços públicos. Além disso, os estabelecimentos possuem fossas sépticas para o esgotamento sanitário.

O indicador padrão de consumo obteve valores abaixo da linha de referência nos estabelecimentos rurais PP1 e PP2 por retratar um padrão de consumo proporcionado aos trabalhadores permanentes e temporários que residem nos estabelecimentos. O estabelecimento PP3 apresentou o valor mais elevado por refletir o padrão de consumo do responsável pelo estabelecimento, que dispõe de maior conforto proporcionado pela exploração da cultura do milho associada a bovinocultura leiteira.

Todos os estabelecimentos rurais avaliados obtiveram valores reduzidos para o indicador qualidade de emprego, inferiores a 0,50, considerando que com frequência não existe vínculo nas relações trabalhistas e os contratos de prestação de serviços temporários são informais, com o pagamento de diárias por serviços prestados. Tais práticas indicam precarização das atividades de trabalho, sobretudo no estabelecimento rural PA1, o que é reforçado pelo estudo de Araujo (2018), que observou a precarização das relações de trabalho na exploração da cultura do milho em assentamentos rurais no semiárido de Sergipe. Os estabelecimentos rurais PP1 e PP2 apresentaram os valores mais elevados devido a maior participação de trabalho assalariado com carteira assinada, recolhimento de contribuição previdenciária e jornada de trabalho não excedente a 44 horas semanais, conforme relato dos produtores.

Quanto ao indicador segurança e saúde ocupacional foram obtidos valores baixos, próximos a 0,50 para todos os estabelecimentos rurais avaliados. Estes valores justificam-se pela exposição dos trabalhadores a agentes de insalubridade derivados da aplicação de pesticidas e dos ruídos gerados pelas máquinas agrícolas, o que também foi verificado por Araujo (2018). O uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), como óculos, abafadores, luvas, máscaras, botas e roupas adequadas atenuam a exposição dos trabalhadores, contudo são comuns os relatos da não utilização destes equipamentos na aplicação de defensivos agrícolas na região (CUNHA, 2015; SANTOS, 2012).

O indicador de oportunidade de emprego e ocupação local qualificada atingiu valores acima da linha base para todos os estabelecimentos avaliados, sendo relatada maior demanda por trabalhadores especializados nos estabelecimentos PP1 e PP2, que apresentam maior nível de mecanização agrícola em suas atividades. Nos demais estabelecimentos (PP3 e PA1) prevalece a ocupação por trabalhadores braçais.

A avaliação do desempenho da dimensão Valores socioculturais indica que é necessário ações de melhoria nas relações de trabalho para reduzir a informalidade, elevar a remuneração do trabalhador assalariado e aumentar a segurança e saúde ocupacional. Além disso, há necessidade de melhoria na qualidade do emprego e na alocação de postos de trabalho que exijam maior qualificação.

Para tanto, são necessárias ações de capacitação voltadas a qualificação do trabalhador rural, como cursos de aperfeiçoamento relacionados ao manejo adequado de pesticidas e formação de tratorista. Estes cursos impactam sobre a saúde do trabalhador e na redução dos impactos ambientais em decorrência da difusão de práticas de conservação do solo, como o plantio em nível.

2.3.4 Dimensão Valores Econômicos

Todos os estabelecimentos rurais avaliados apresentaram índices de desempenho superiores a linha base (0,70) na dimensão Valores econômicos. Os índices variaram entre 0,72 e 0,87 (Quadro 2.6). De modo geral, os resultados obtidos nesta dimensão revelam melhora da condição financeira dos produtores e dos trabalhadores envolvidos com a exploração intensiva da cultura do milho.

Quadro 2.6 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Valores econômicos, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Valores Econômicos	Estabelecimento rural			
Indicador	PP1¹	PP2²	PP3³	PA1⁴
Renda líquida do estabelecimento	0,93	0,83	0,93	0,83
Diversidade das fontes de renda	0,87	0,86	0,80	0,74
Distribuição da renda	0,67	0,67	0,80	0,80
Nível de endividamento	0,70	0,70	0,70	0,50
Valor da propriedade	0,99	0,97	0,99	0,70
Qualidade da moradia	1,00	0,81	1,00	0,75
Índice de desempenho	0,86	0,81	0,87	0,72

Escalas de produção da cultura do milho: (¹) 250 ha; (²) 60 ha; (³) 40 ha; (⁴) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

A renda líquida dos estabelecimentos avaliados elevou-se com a recente expansão da cultura do milho, o que garantiu valores elevados para este indicador. Tal desempenho justifica-se, sobretudo pela segurança na comercialização da produção, considerando a grande demanda existente pelos grãos após a colheita, que torna os preços atrativos ao produtor (PRATA, 2013; PACHECO *et al.*, 2016; BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017). Comparando os preços mensais pagos aos produtores nos estados de Sergipe, Bahia e Mato Grosso entre os anos de 2014 e 2019, verifica-se que os preços médios pagos em Sergipe foram superiores aos praticados nos estados da Bahia e Mato Grosso, respectivamente, 12% e 43% (CONAB, 2020). Porém, os produtores indicaram a redução da estabilidade da produção em razão da variabilidade espaço-temporal das chuvas na região (MARENGO *et al.*, 2011), que acarretam perdas de produtividade e, até mesmo a perda total da produção, como ocorrido na safra de 2018 (IBGE, 2019d).

Neste sentido, o seguro agrícola amparado no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) proporciona uma segurança ao produtor ao absorver grande parte das perdas (ROSSETTI, 2001; SANS; GUIMARÃES, 2006), contudo, quando acionado três vezes, consecutivas ou não, no período de cinco anos, o produtor fica impedido de firmar novos contratos de financiamento (BCB, 2020b). Tal situação ocorreu com o produtor do estabelecimento rural PA1, que teve que custear com recursos próprios a safra de 2019, elevando o risco da atividade ao não contratar seguro agrícola. Embora a região seja propensa a riscos climáticos, os preços pagos aos agricultores suportam os riscos da produção, o que tem incentivado a expansão do cultivo do milho na região (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017).

Nos casos dos estabelecimentos rurais PP3 e PA1, a silagem a partir do milho tem proporcionado segurança alimentar à produção de gado leiteiro durante a estação seca, garantindo liquidez aos produtores que têm na produção leiteira uma fonte constante de renda, distribuída uniformemente ao longo do ano.

Os estabelecimentos rurais avaliados obtiveram valores superiores a 0,80 para o indicador diversidade de fontes de renda, com exceção do estabelecimento PA1, que possui fonte de renda concentrada nas atividades agropecuárias desenvolvidas no próprio estabelecimento. Os demais produtores possuem renda em atividades não agrícolas, que são acrescidas as rendas obtidas na agropecuária, que se elevaram nos últimos anos com a expansão da cultura do milho.

Os médios e grandes produtores de milho na microbacia do rio Socavão em sua maioria são comerciantes ou profissionais liberais, que veem na agricultura uma boa oportunidade de obter lucro. Na sub-bacia do rio Salgado, em Sergipe, foi observada tendência similar com o aporte de renda de comerciantes locais na produção milho (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Em relação ao indicador de distribuição da renda verifica-se que a recente modernização da produção de grãos elevou a distribuição da renda em salários e benefícios em decorrência do aumento da produtividade agrícola na região. A renda é melhor distribuída nos imóveis rurais menores e com maior diversidade produtiva, como os estabelecimentos PA1 e PP3, que necessitam contratar serviços para a colheita do milho. Nos estabelecimentos PP1 e PP2, a distribuição de renda ficou abaixo da linha base (0,70), considerando que dispõem de mecanização agrícola própria e de maior escala de produção. Salienta-se que estes estabelecimentos supracitados (PP1 e PP2) possuem maior poder de negociação na compra de insumos e na venda da produção (CONTE; FERREIRA FILHO, 2006), o que tende a elevar os lucros do produtor e a concentração da renda nas grandes e médias propriedades.

Neste contexto, observa-se uma tendência de concentração das terras na área do estudo, considerando que apenas três produtores possuem 19% das terras particulares da microbacia do rio Socavão. A partir dos dados levantados no presente estudo foi obtido o Índice de Gini²⁰ equivalente a 0,51, que indica média a forte concentração fundiária na área do estudo (CAPARROZ, 1997), o que pode estar associado a maior capacidade financeira dos grandes e médios produtores de milho, bem como ao aporte de rendas de atividades não agrícolas na aquisição de terras.

O nível de endividamento elevou-se em todos os estabelecimentos em decorrência da frustração ocorrida na safra de 2018, pois à quebra da produção de grãos interferiu na solvência dos contratos, porém o acionamento do seguro-safra e a comercialização dos resíduos culturais amenizaram as perdas financeiras dos produtores. Em períodos de estiagem prolongada acentua-se a demanda por ração animal (silagem e rolão) devido a concentração da cadeia produtiva de leite no Alto Sertão Sergipano (FEITOSA, 2018), que possui clima semiárido (Bsh) (ALVARES *et al.*, 2013).

O maior endividamento decorre da contratação de crédito agrícola para o custeio das lavouras e para aquisição de máquinas e implementos agrícolas, como é o caso dos

²⁰ O índice de Gini é um coeficiente de mensuração da desigualdade que varia entre zero e 1. O valor zero corresponde à completa igualdade (a terra está igualmente dividida entre os imóveis), portanto quanto mais próximo de 1 estiver o valor, mais desigual será a distribuição das terras (LEITE, 2018).

estabelecimentos rurais PP1 e PP2, que adquiriram máquinas e implementos através de financiamento. Nos últimos anos observa-se um viés de crescimento do crédito de custeio agrícola no município de Carira, que passou de R\$ 17.861.786,65 para R\$ 44.471.902,12 entre os anos de 2013 e 2019 (BCB, 2019), o que pode elevar o nível de endividamento dos produtores. O aumento do endividamento não representa inadimplência financeira às instituições de crédito, que foi observada apenas no assentamento rural Edmilson Oliveira, considerando que alguns assentados ficaram impossibilitados de contratar crédito agrícola na safra 2019, em razão de pendências com financiamentos de anos anteriores. Santos (2013), Silva (2015) e Oliveira (2019) também observaram o viés de elevação do nível de endividamento dos produtores do assentamento rural Edmilson Oliveira em decorrência da monocultura intensiva do milho.

O valor obtido para o estabelecimento rural PA1 (0,50) ficou abaixo da linha base (0,70), considerando que a adesão ao novo pacote tecnológico incorporado à produção do milho exigiu maior aporte de recursos financeiros, o que elevou o grau de endividamento do produtor. Nos estabelecimentos rurais PP1, PP2 e PP3 o indicador do nível de endividamento estabeleceu-se em 0,70, considerando que o valor da dívida em relação à renda dos produtores não ultrapassou o percentual de 10%, conforme declarado pelos produtores.

Em relação ao indicador valor da propriedade, os estabelecimentos PP1, PP2 e PP3 obtiveram valores superiores a linha base (0,70), em virtude da intensa valoração das terras da região, sobretudo após a consolidação da exploração da cultura do milho em Carira, considerando a existência de relação positiva da elevação dos preços das terras com a rentabilidade das atividades agrícolas (MALASSISE; PARRÉ; FRAGA, 2015). Entre os anos de 2010 e 2016, o preço médio das terras agrícolas em Carira valorizou-se 180%, porém as áreas destinadas à lavoura tiveram valoração superior, o preço do hectare passou de R\$ 3.000,00 para R\$ 16.500,00 (EMDAGRO, 2019), bem acima da inflação acumulada estimada em 71,9% pelo IGP-M da Fundação Getúlio Vargas (BCB, 2020a). O estabelecimento rural PA1 obteve valor igual a 0,70 para o indicador valor da propriedade, considerando que as terras não apresentam valor venal por estarem localizadas no interior de projeto de assentamento rural, não titulado.

O indicador qualidade da moradia obteve valores acima da linha base para todos os estabelecimentos rurais avaliados. A variação existente entre os valores decorre sobretudo da qualidade de moradia dos empregados permanentes e temporários e a proporção de pessoas por aposento.

Os resultados indicam o empoderamento econômico dos agentes envolvidos com a produção do milho devido à elevação da renda nos estabelecimentos rurais, o que garantiu índices de desempenho acima da linha de referência para todos os estabelecimentos rurais avaliados. Porém, no assentamento rural Edmilson Oliveira observou-se um aumento no nível de endividamento dos produtores e menor diversidade nas fontes de renda, o que denota maior dependência dos assentados à exploração da cultura do milho e ao capital provindo de instituições de crédito agrícola.

2.3.5 Dimensão Gestão e Administração

Os estabelecimentos rurais avaliados apresentaram índices de desempenho abaixo de 0,70 (Quadro 2.7). Os melhores resultados foram obtidos pelos estabelecimentos que desenvolvem o cultivo do milho em maior escala (PP1 e PP2), por possuírem maior expertise e capacidade de investimento na lavoura.

Quadro 2.7 – Índices de desempenho dos indicadores da Dimensão Gestão e administração, segundo avaliação do Sistema APOIA-Novorural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.

Gestão e Administração	Estabelecimento rural			
Indicador	PP1¹	PP2²	PP3³	PA1⁴
Dedicação e perfil do responsável	0,50	0,50	0,50	0,50
Condição de comercialização	0,25	0,25	0,38	0,13
Disposição de resíduos	0,55	0,33	0,50	0,33
Gestão de insumos químicos	0,80	0,80	0,60	0,40
Relacionamento institucional	0,43	0,43	0,29	0,29
Índice de desempenho	0,55	0,46	0,45	0,33

Escalas de produção da cultura do milho: (1) 250 ha; (2) 60 ha; (3) 40 ha; (4) 13 ha.

Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

A condição de comercialização da produção em grãos ocorre exclusivamente através da venda a atravessadores, sem qualquer tipo de processamento. O estabelecimento PP1 optou por comercializar antecipadamente parte da safra 2019, enquanto o restante da produção fica armazenada em silos *bags*, aguardando a valorização do produto. A adoção deste comportamento aparentemente está associada a maior escala de produção. Em escalas menores, os produtores ficam mais susceptíveis às oscilações de preço do mercado, considerando que

possuem prazo fixado para pagamento do financiamento agrícola. Esta situação é agravada, quando o produtor não possui produção suficiente para a aquisição de silo-bolsa, como é o caso do agricultor do estabelecimento PA1, que fica condicionado a comercializar sua produção aos preços praticados na época da colheita, que geralmente são menores. A ausência de processamento local da produção, ausência de transporte e de marca própria contribuíram para o baixo desempenho deste indicador em todos os estabelecimentos avaliados.

O indicador disposição de resíduos obteve valores insatisfatórios, abaixo de 0,70, considerando que os estabelecimentos não realizam a coleta seletiva, a compostagem e o tratamento adequados dos resíduos da produção. Em relação a gestão de insumos químicos observou-se que os estabelecimentos rurais PP1 e PP2 por produzirem em escala maior, gerenciam melhor o uso de produtos químicos, destinando local específico para o seu armazenamento. Além de realizar a logística reversa das embalagens vazias à central de recebimento localizada a cerca de 50 km de Carira. Nos demais estabelecimentos avaliados, os valores do indicador ficaram abaixo da linha base, considerando a inexistência de local adequado para armazenamento, ausência do registro dos tratamentos e falta de calibração dos equipamentos de aplicação, bem como a disposição inadequada das embalagens.

Salienta-se que os produtores da microbacia do rio Socavão reclamam da falta de um sistema regular de coleta das embalagens por parte dos revendedores locais, o que acaba onerando o produtor, que tem que se deslocar cerca de 50 km até a central de recolhimento no município de Ribeirópolis, em Sergipe. A ausência de postos de recolhimento em Carira torna frequente o descarte irregular das embalagens de pesticidas, bem como a sua queima ou reutilização (OLIVEIRA, 2019; SILVA, 2015; OLIVEIRA, 2010).

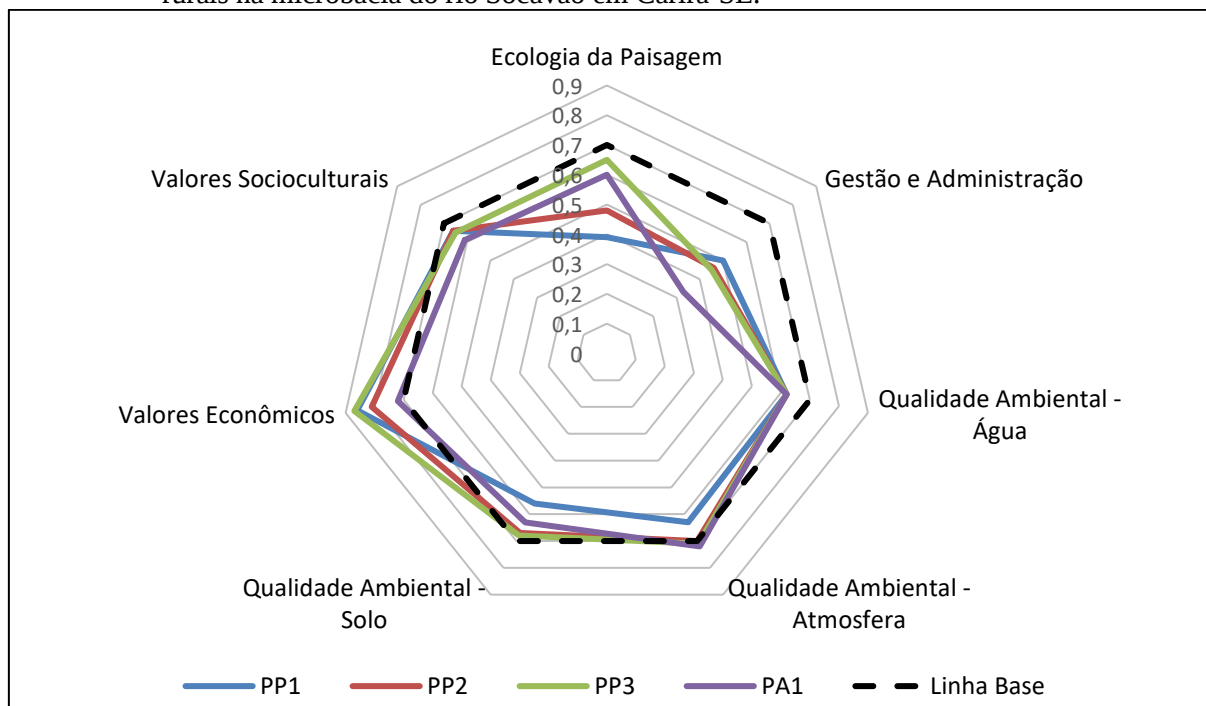
Com relação ao indicador relacionamento institucional, destaca-se o associativismo dos agricultores no assentamento rural Edmilson Oliveira e a ausência de assistência técnica aos produtores, com exceção dos médios e grandes produtores (PP1 e PP2), que recebem assistência técnica das empresas fornecedoras de insumos, que também realizam atividades de campo para divulgação de novos produtos. Instituições públicas e privadas realizam ações informativas na região, porém, não com a intensidade necessária, o que torna deficiente a assistência técnica ofertada aos produtores de milho, como já observado por Oliveira (2019), Santos (2012) e Oliveira (2010). Dos 28 produtores contatados, cerca de 6% informaram receber assistência técnica, porém de forma esporádica.

2.3.6 Índice de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais

Os índices de sustentabilidade variaram entre 0,59 e 0,65, revelando desempenho insatisfatório dos estabelecimentos rurais avaliados independentemente da escala de produção da cultura do milho (Figura 2), o que demonstra a necessidade de ações corretivas e de mitigação de impactos para elevação dos índices de sustentabilidade dos estabelecimentos avaliados.

As dimensões mais restritivas que condicionam a sustentabilidade referem-se as dimensões Ecologia da paisagem e Gestão e administração, conforme relatos dos agricultores e nas observações *in loco* durante as visitas às propriedades. O que é reforçado por Rodrigues *et al.* (2010), que ao analisar os resultados da aplicação do sistema APOIA-NovoRural em 177 estabelecimentos rurais identificaram que estas dimensões têm sido aquelas que mais proximamente se correlacionam com o índice de sustentabilidade.

Figura 2.2 – Índices de desempenho ambiental nas cinco dimensões e nos componentes ambientais avaliados, segundo avaliação do Sistema APOIA-NovoRural, em quatro estabelecimentos rurais na microbacia do rio Socavão em Carira-SE.



Fonte: Dados da Pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2020).

As limitações à sustentabilidade justificam-se, sobretudo, pela homogeneização da paisagem, degradação de habitats naturais, baixa biodiversidade ecológica, reduzida

diversidade produtiva, contaminação dos recursos hídricos por fertilizantes e defensivos químicos, precarização das atividades trabalhistas, gestão ineficiente dos resíduos e produtos químicos e a fragilidade na comercialização da produção. Além da ausência de um melhor gerenciamento das atividades rurais e de um controle maior sobre os custos de produção. Isto em parte decorre pela inexperiência dos produtores no manejo da cultura do milho para altos rendimentos, considerando que o processo de modernização da produção é relativamente recente na região, tendo início, sobretudo a partir de 2008 (IBGE, 2019d). A situação é agravada pela carência de assistência técnica e de atividades de extensão rural, conforme relatado pelos agricultores e reforçado pelos estudos de Santana (2019) e Araujo (2018).

A proximidade dos índices de sustentabilidade obtidos nos estabelecimentos avaliados indica uma similaridade na forma de explorar a cultura do milho em diferentes escalas de produção, sendo que as principais diferenças residem, sobretudo, na capacidade financeira, que permite aos produtores com maior escala (PP1 e PP2) investir em adubações químicas mais robustas e sementes de melhor qualidade. Além disso, os produtores dotados de maior capital contam com máquinas agrícolas próprias, possuem capacidade de armazenamento dos grãos e maior poder de negociação na compra de insumos, diferentemente dos pequenos produtores, especialmente, dos agricultores do assentamento rural Edmilson Oliveira (PA1), que necessitam contratar serviços de mecanização agrícola. Além de serem condicionados a comercializar sua produção aos preços praticados na época da colheita (geralmente menores), devido à ausência de local apropriado para o armazenamento dos grãos.

Os menores índices de sustentabilidade foram obtidos para os estabelecimentos PA1 e PP1, respectivamente 0,59 e 0,60. O baixo índice de sustentabilidade obtido pelo estabelecimento rural PP1 pode ser atribuído aos indicadores da dimensão Ecologia da paisagem, e estão intrinsecamente associados a baixa diversidade produtiva, a homogeneização da paisagem, a ausência de corredores de fauna e cumprimento de requerimento de Reserva Legal. Enquanto, o índice de sustentabilidade insatisfatório do estabelecimento PA1, pode ser atribuído ao baixo desempenho obtido na dimensão Gestão e administração, especialmente, para os indicadores relacionados a condição de comercialização, relacionamento institucional, disposição de resíduos e gestão de produtos químicos. O estabelecimento PP2 obteve índice de sustentabilidade igual a 0,62, enquanto o estabelecimento PP3 obteve o maior índice (0,65) pela maior diversidade produtiva (integração do cultivo de milho com a pecuária leiteira), maior distribuição da renda e, sobretudo, pelo seu melhor desempenho nos indicadores relacionados a conservação de habitats naturais e da biodiversidade. Santana (2019) também observou

maiores índices de sustentabilidade em estabelecimentos familiares com maior diversificação produtiva em relação aos que exploram unicamente a cultura do milho.

2.4 Conclusões

Os resultados médios obtidos indicam baixos índices de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais avaliados na microbacia do rio Socavão, apesar dos benefícios econômicos proporcionados aos produtores pela monocultura intensiva do milho. A expansão das atividades agrícolas e a simplificação dos processos produtivos vem agravando a situação ambiental da região, impactando sobre a qualidade e a conservação dos recursos naturais e, conseqüentemente, reduzindo a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais. Ao simplificar o sistema produtivo, a monocultura do milho impacta negativamente sobre a biodiversidade e a conservação de habitats naturais ao homogeneizar a paisagem.

A baixa diversidade produtiva e o uso de práticas não conservacionistas de manejo do solo em um ambiente peculiarmente sensível às intervenções antrópicas limitam a sustentabilidade dos estabelecimentos envolvidos com a monocultura do milho. Além disso, o plantio de híbridos transgênicos e o uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes e defensivos químicos) acabam exacerbando a dependência dos produtores a insumos exógenos ao agroecossistema, reduzindo o nível de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais.

No estudo não foram identificadas tecnologias promotoras de um modelo sustentável à exploração de milho na microbacia do rio Socavão, considerando que há uma uniformização das práticas de manejo do solo, bem como do pacote tecnológico utilizado na produção de grãos. A liberação de crédito agrícola pelas instituições bancárias frequentemente está vinculada a adoção deste pacote tecnológico, o que acaba por fomentá-lo.

O modelo de exploração da monocultura do milho tem acentuado os processos de assoreamento e salinização dos sistemas hídricos. Além de contaminar as águas superficiais com produtos químicos, especialmente pesticidas e fertilizantes nitrogenados. Ademais, a carência de assistência técnica e extensão rural potencializam os impactos negativos sobre o meio ambiente, além de refletirem sobre a produtividade da cultura. Portanto, há necessidade de implantação de medidas de controle de erosão simultaneamente com a proteção dos mananciais e a recuperação da mata ciliar dos cursos da água (intermitentes e efêmeros),

considerando o fluxo considerável de sedimentos, pesticidas e fertilizantes que são carregados para o leito do rio Socavão, sobretudo, durante a estação chuvosa.

Em função da enorme quantidade de parâmetros de entrada, o sistema Apoia-NovoRural apresentou indicadores sensíveis para avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos na microbacia do rio Socavão em Carira. Muitos deles, são corroborados por estudos realizados por instituições públicas e privadas, além do observado por outros autores.

O estabelecimento rural que obteve o melhor desempenho (PP3) caracteriza-se por conciliar a comercialização de grãos com produção de silagem, destinada a bovinocultura leiteira. A atividade leiteira proporciona liquidez e uma renda uniforme distribuída ao longo do ano. Este estabelecimento também apresentou maior engajamento familiar no processo produtivo, resultando uma maior distribuição da renda gerada no estabelecimento. Porém, o melhor desempenho deriva dos indicadores da dimensão Ecologia da paisagem, especialmente, dos associados à conservação da biodiversidade e a diversidade da paisagem. O pior resultado foi obtido pelo produtor com menor escala de produção (PA1), especialmente, pela sua fragilidade no ato da comercialização dos grãos, a sua menor capacidade de investimento na lavoura e maior dependência ao capital financeiro.

O uso de geoprocessamento mostrou-se relevante para subsidiar a avaliação dos indicadores da dimensão Ecologia da paisagem, permitindo identificar pontos críticos e aspectos favoráveis nos estabelecimentos rurais avaliados. Para o aprimoramento do sistema APOIA-NovoRural sugere-se a inclusão de indicadores específicos para analisar fatores climáticos e as propriedades físicas do solo. Estes fatores podem comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas ao imporem limitações a sua capacidade produtiva.

A avaliação de impactos proporcionada pelo APOIA-NovoRural é pontual (antes e depois), o que pode limitar a detecção de impactos associados a práticas agrícolas sazonais, que podem comprometer a qualidade dos recursos naturais. Além disso, desconsidera a dinâmica dos sistemas ambientais e os impactos ambientais acumulativos, se limitando a identificar o impacto local sem considerar o seu entorno. Apesar disso, a ferramenta mostrou-se válida, podendo ser aplicada em diferentes regiões e atividades agrícolas.

2.5 Recomendações

Para a mitigação dos impactos derivados da baixa diversidade da paisagem na microbacia do rio Socavão são necessárias ações que favorecem o restabelecimento parcial da cobertura florestal original. Além de medidas protetivas para a conservação dos remanescentes florestais e da biodiversidade, bem como a ampliação dos corredores ecológicos, a recomposição das matas ciliares e a proteção dos canais de drenagem. Estas medidas tornarão a paisagem mais heterogênea, propiciando áreas de refúgio para a fauna silvestre, além de impactar na qualidade da água, que tende a melhorar com a recomposição da mata ciliar.

A adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio em nível e a semeadura direta (plantio direto) se constituem em alternativas para a melhoria dos índices de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais, uma vez que tendem a reduzir o volume de sedimentos e nutrientes carregados para os corpos d'água, propiciando melhora na qualidade da água. Além disso, a semeadura direta tende a melhorar a qualidade do solo ao proteger o solo de agentes erosivos, elevar a atividade biológica e o aporte de matéria orgânica no solo. Além disso maximiza a janela climática de semeadura, que é muito estreita no semiárido. Logo, espera-se que a médio e longo prazo os índices de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais sejam elevados com a incorporação da semeadura direta no cultivo do milho.

Em relação a gestão dos produtos químicos é salutar que seja fomentada a criação de um ponto de coleta de embalagens no município de Carira, bem como capacitações sobre a correta utilização dos insumos químicos, que se constituem em fonte de contaminação do solo e dos recursos hídricos.

O cooperativismo surge como alternativa para minimizar a fragilidade do pequeno produtor na comercialização e armazenamento da sua produção, bem como na compra de insumos para a lavoura em condições e preços mais vantajosos. Além de possibilitar a contratação de serviços de assistência técnica e extensão rural. De acordo com Pires (2018) o cooperativismo continua a ter um papel de destaque nas políticas voltadas ao mundo rural, como instrumento de organização dos produtores e da produção agrícola.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M.; JANTALIA, C. P.; MADARII, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. *In: Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira* – Brasília, DF: Embrapa, 2012, p.159-191.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F. da; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E. de; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum. Technology**, n. 30, v.1, p. 39-48, 2008.

ALVES, R. R. N.; GONÇALVES, M. B. R.; VIEIRA, W. L. S. Caça, Uso e Conservação de Vertebrados no Semiárido Brasileiro. **Psychological Science in the Public Interest**, p. 10–65, 2012.

AMORIM, J. R. de; CRUZ, M. A. S.; RODRIGUES JUNIOR, L. N.; DOMPIERI, M. H. G.; SOUZA, L. A. Qualidade da água superficial para dessedentação animal na região do polo de produção de milho em Sergipe: diagnóstico preliminar. *In: Anais.... Encontro De Recurso Hídrico Em Sergipe*, 7, Aracaju, 2014.

AMORIM, J. R. de; CRUZ, M. A. S.; RODRIGUES JUNIOR, L. N.; DOMPIERI, M. H. G. **Influência da sazonalidade da precipitação na qualidade da água superficial no polo de produção de milho em Sergipe**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 113, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2016.

ANVISA. **Monografias autorizadas: Atrazina**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/117782/a14.pdf/76773817-be41-4334-9846-77bd559f9e80>. Acesso em: 10 dez. 2019.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC, 2017. 1496 p.

ARAUJO, C. C. **Sustentabilidade da monocultura do milho em assentamentos rurais no município de Simão Dias – SE**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente), UFS, São Cristóvão, 2018. p.119.

ARAUJO, H. M.; OLIVEIRA, A. M. de; CRUZ, R. da; SOUZA, A. C. O agronegócio do milho e a modernização agrícola na sub-bacia do rio salgado. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 585-594, 2016.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L. de; SILVA, L. X. da. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.

BAIRD, C. **Química Ambiental**, tradução: Recio, M. A. L.; Carrera, L. C. M.; 2a ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de. Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. **Journal of Environmental Accounting and Management**, 5, 211-232, 2017.

BCB. **Correção de valores**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 28 jan. 2020a.

BCB. **Matriz de dados do crédito rural – contratações**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural> Acesso em: 01 nov. 2019.

BCB. **Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro)**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/mcr/manual/09021771806f501f.htm>. Acesso em: 03 jan. 2020b.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 954-968, 2012.

BITTENCOURT, M. V. L. Impactos da agricultura no meio-ambiente: Principais tendências e desafios (Parte 1). **Revista Economia & Tecnologia**, v. 5, n. 3, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo Código Florestal Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 14 dez. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento entre outros. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 10 nov. 2019.

CAPARROZ, João Miguel. **Concentração de terras no Brasil –1940 a 1985**. Dissertação (Mestrado em Economia), Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 1997.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; CIOTTI, L. H.; SANTOS, D. R. dos. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 45, n. 4, p. 647-650, 2015.

CHIARELLO, A. G. Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in south-eastern Brazil. **Biological Conservation**, v. 89, n. 1, p. 71-82, 1999.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Circular técnica n. 78, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2006.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2 ed. Arquivo do Agrônomo n. 2. Piracicaba: Potafos, 1995.

CONAB. **Preços de Mercado**: Preços médios mensais pagos ao produtor. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 24 dez. 2020.

CONTE, L.; FERREIRA FILHO, J. B. de S. Economias de escala na produção de soja no Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 44, Fortaleza. **Anais....** Fortaleza, 2006.

COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável I: Conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 61–74, 2010.

CRUZ, J. C. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 13-24, Belo Horizonte, 2001.

CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A. de. Análise da distribuição espacial de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas para irrigação no semi-árido do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 15, n.2, p. 105-113, Porto Alegre, 2010.

CUENCA, M. A. G.; DOMPIERI, M. H. G.; SANTOS, F. R. dos. Expansão da Produção do Milho e Substituição de Cultivos na Região do Sertão Ocidental, no Estado de Sergipe. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** n. 120. Aracaju: Embrapa, 2016.

CUNHA, J. S. **O agronegócio do milho transgênico e a falácia da modernidade no campo sergipano**. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7, 2014, Vitória, **Anais...** CBG, Vitória, 2014.

CUNHA, J. S. **O agronegócio do milho transgênico no oeste sergipano**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2015. 175p.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. São Paulo: Signus, 2000.

DOMPIERI, M. H. G.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; SILVA, M. A. S. da; CUENCA, M. A. G.; AMORIM, J. R. A. de. **Sensoriamento remoto aplicado na identificação do polo produtor de milho em Sergipe**. Comunicado Técnico n. 197, Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2016.

EMBRAPA. **Código Florestal: Adequação ambiental da paisagem rural**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>. Acesso em: 10 jan. 2020.

EMBRAPA. **Trimestres mais e menos chuvosos no estado de Sergipe**. Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://geoinfo.cnpa.embrapa.br/maps/402/download>. Acesso em: 05 dez. 2019.

EMDAGRO. **Estatística Agropecuária: Preços terras agrícolas**. Disponível em: https://www.emdagro.se.gov.br/?page_id=1111. Acesso em: 15 dez. 2019.

EMMETT B. A.; HUDSON, J. A.; COWAR, D. P. A.; REYNOLDS, B. The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. **Journal of Hydrology** 1994; 162(3-4): 337-353.

FEITOSA, D. C. **As transformações do mundo do trabalho camponês no alto sertão sergipano e as estratégias de reprodução camponesa**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2018. 153 p.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; CAUSAPÉ, J. R.; ABRAHAO, R. Nitrate contamination and its relationship with flood irrigation management. **Journal of Hydrology**, v. 442, p. 15-22, 2012.

GENEROSO, T. N.; FRAGA, M. de S.; BARROS, F. M.; TAGLIAFERRI, C.; ROSA, R. C. C. Influência do local de amostragem nos valores de variáveis de qualidade de água em uma seção transversal do rio Catolé-BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, n. 6, v. 11, 2010.

IBGE. **Clima**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 5 dez. 2019a.

IBGE. **Pedologia**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>. Acesso em: 5 dez. 2019b.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 05 dez. 2019c.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=tzo=11%i=p>. Acesso em: 10 dez. 2019d.

IBGE. **Vegetação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 05 dez. 2019e.

ICMBIO. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II - Mamíferos**. Brasília, DF, ICMBio/MMA, 2018. 621p.

INCRA. **Informações gerais sobre os assentamentos da Reforma Agrária**. Disponível em: <http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>. Acesso em: 11 jan. 2020.

INPE. **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil: TOPODATA**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 05 jun. 2019a.

INPE. **Programa Queimadas**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 11 dez. 2019b.

INMET. **Estações automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 01 dez. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Boletim técnico, v. 36, Embrapa/Sudene, 1975. 505p.

LA SCALA JUNIOR, N.; FIGUEIREDO, E. B. de; PANOSSO, A. R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2012.

LEITE, A. Z. Análise da concentração fundiária no Brasil: desafios e limites do uso do índice de Gini. **Revista NERA**, n. 21, v.43, 2018.

LEITE, M. J. de H.; GOMES, A. D. V. Cultivo do sorgo forrageiro *Sorghum bicolor* (L.) Moench (S. vulgare Pers.) no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, 2012.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2 ed., São Paulo, Oficina de Textos, 2010. 216p.

LUZ, L. R. Q. P. da; PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de; ANJOS, J. L. dos; MELO, P. de O. Topossequência de solos cultivada com milho no estado de Sergipe. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19, 2012, Lages. **Anais...** Lages: SBSCS; UDESC; Epagri; Instituto Federal Santa Catarina, 2012.

MAGNUS, L. Z; CACERES, N. C. Effects of area size on the species richness and composition of small mammals in the Atlantic Forest of Brazil. **Mastozoologia Neotropical**, Mendoza, v. 19, n. 2, p. 163-178, 2012.

MALASSISE, R. L. S.; PARRÉ, J. L.; FRAGA, G. J. O comportamento do preço da terra agrícola: um modelo de painel de dados espaciais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 53, n. 4, p. 645-666, 2015.

MAPBIOMAS, Projeto. **Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit. Acesso em: 05 dez. 2019

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. (ed.) **Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 384-422, 2011.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta Ambiental**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: Desafios para a sustentabilidade. **Revista Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, 2006.

MENDONÇA, L. E. T.; SOUTO, C. M.; ANDRELINO, L. L.; SOUTO, W. M. S.; VIEIRA, W. L. S.; ALVES, R. R. N. Conflitos entre pessoas e animais silvestres no semiárido paraibano e suas implicações para conservação. **Sitientibus: Série Ciências Biológicas**, v. 11, n. 2, p. 185-199, 2011.

MMA. **Instrução Normativa n. 2, de 06 de maio de 2014**. Regulamenta o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. Disponível em: http://www.car.gov.br/leis/IN_CAR.pdf. Acesso em: 14 dez. 2019.

MORAIS, M. A. V. **Aplicação do Sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental do Novo Rural em Assentamentos Rurais no Estado do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2010. 57 p.

MÜLLER, S. **Como medir la Sostenibilidad? Una propuesta para el area de la agricultura y de los recursos naturales**. Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales, n. 1. IICA/BMZ/GTZ, Agroamerica, Costa Rica, 1996. 55 p.

NOGUEIRA, E. D.; VASCONCELLOS, B. M. C.; JUNIOR, C. J. T. Atributos químicos do solo sob diferentes coberturas Vegetais em áreas do platô de Neópolis-SE. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (b), 2013.

OLIVEIRA, E. R. S. dos S. **Expansão da produção do milho no estado de Sergipe e sua interface com a agricultura familiar**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019. 135p.

OLIVEIRA, I. R. de; CARVALHO, H. W. L. de; DONALD, E. R. C.; MELO, K. E. de O.; FEITOSA, L. F.; MENEZES, A. F. *In*: CURADO, Fernando Fleury; LOPES, E. S.; SANTANA, M. **Do plural ao singular: dimensões da reforma agrária e assentamentos rurais em Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008. 254 p.

OLIVEIRA, J. L. M. **Comportamento do dicofol e da atrazina nos processos de tratamento de esgoto por lodo ativado e de pós-tratamento do lodo por biodigestores anaeróbios**. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Instituto de Microbiologia Prof. Paulo de Góes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. 138 p.

OLIVEIRA, J. A.; GONÇALVES, P. R.; BONVICINO, C. R. Mamíferos da Caatinga. pp. 275-352 *In*: LEAL, Inara Roberta; TABARELLI, Marcelo; DA SILVA, José Maria Cardoso (Eds). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife, PE: Editora Universitária UFPE, 2003. 828p.

OLIVEIRA, N. L. de. **Modernização da agricultura e alterações socioambientais no município de Carira/SE sob a lógica de reprodução ampliada do capital**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2010. 220p.

OLIVEIRA, O. S. **Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de milho em Sergipe a partir de indicadores biológicos da qualidade do solo**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

PACHECO, C. A. P.; CARVALHO, H. W. L. de; ROCHA, L. M. P. da; CARDOSO, M. J. Cultivares. *In*: PACHECO, C. A. P., de CARVALHO, H. W. L., CARDOSO, M. J, da ROCHA, L. M. P. (org.) **Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos**. Embrapa, Brasília, 2016.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. D. F; AQUINO, M. M. D.; BEZERRA, H. F. C. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PEREIRA, D. R. **Avaliação da sustentabilidade de unidades familiares de produção do Alto Rio Pacuí, Montes Claros-MG, por meio da metodologia APOIA-NovoRural**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, 2008. 151 p.

PEREIRA, M. da. S. **Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Produção Agrícola de Base Ecológica no Município de Nova Friburgo, RJ**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. p. 26.

PIMENTEL, F. G. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 468p 1990.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; OLIVEIRA, D. A. de; ALBANO, R. M. R. Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 86-93, 2013.

PIRES, M. L. L. E S. Velhas Alianças e Novos Compromissos: Extensão Rural e Cooperativismo Agrícola no Brasil. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 7, n. 1, p. 118-140, 2018.

PONTE FILHO, F. A. M. da. **Adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem de culturas anuais e consórcio de gramíneas com milho em condições de semiárido**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2018. 114 p.

POSSENTI, J. C.; TOZETTO, F. C.; BETTIATO, G.; SZEPAHUK, V. A agricultura convencional e suas implicações para o meio ambiente. In: Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária, 1, **Anais...**, Dois Vizinhos: Master Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 126-128.

PRATA, D. A. T. **Determinantes da expansão da produção de milho em Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2013. 100 p.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Documentos n. 57. Embrapa, Brasília, 2002. 29 p.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do novo rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.4, p.445-451, 2003.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J.; QUEIROZ, J. F. de; FRIGHETTO, R. T. S.; RAMOS FILHO, L. O.; RODRIGUES, I.; BROMBAL, J. C.; TOLEDO, L. G. de. **Avaliação de Impacto Ambiental de atividades em estabelecimentos familiares no Novo Rural**. Documentos n. 17. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2003.

RODRIGUES, G. S.; MOREIRA, A.; MARTÍNEZ, N. **Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales**. IICA, Montevideo, 2007. 168 p.

RODRIGUES, G. S.; PIMENTA, S. C.; CASARINI, C. R. A. **Ferramentas de avaliação de impactos ambientais e indicadores de sustentabilidade na Embrapa**. Documentos n. 105. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2016.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. A.; BARROS, I. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, n. 4, p. 229-239, 2010.

- RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. Avaliação de Impactos Ambientais na Agropecuária. **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 310 p. 2007.
- ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.
- SANCHEZ, L. H. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. 495 p.
- SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho**. Circular Técnica n. 82, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2006.
- SANTANA, A. P. S. de. **Aspectos da sustentabilidade nas explorações do milho em assentamentos rurais no centro oeste de Sergipe**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- SANTOS, C. dos. **Níveis Tecnológicos dos Agroecossistemas do Milho no Estado de Sergipe**. São Cristóvão, 2012. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, 2012. 145 p.
- SANTOS, C. dos; PEDROTTI, A.; RAMOS, O. F.; RODRIGUES, S. A. S. R. Aspectos da sustentabilidade no cultivo do milho no estado de Sergipe. *In: Encontro Nacional de Geografia Agrária*, 21, 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU/LAGEA, 2012.
- SANTOS, F. F. **O fetiche da tecnologia no espaço agrário: o caso dos assentamentos rurais Jacaré Curitiba e Edmilson Oliveira em Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2013.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, Embrapa, 2013. 353 p.
- SENE, L.; CONVERTI, A.; SECCHI, G. A. R.; SIMÃO, R. de C. G. New aspects on atrazine biodegradation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 2, p. 487-496, 2010.
- SERGIPE. **Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Japarutuba, Piauí e Sergipe: Relatório de Resumo Executivo da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe**. Aracaju: SEMARH, 2015.
- SFB. **Consulta Pública Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads?sigla=SE>. Acesso em: 02 fev. 2019.
- SIGNOR, D.; CERRI, C. E. Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, 2013.

SILVA, A. C. C.; PRATA, A. P. do N.; SOUTO, L. S.; MELLO, A. A. de. Aspectos de ecologia de paisagem e ameaças à biodiversidade em uma unidade de conservação na Caatinga, em Sergipe. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 479-490, 2013.

SILVA, A. S.; SILVA, I. de F. da; SILVA NETO, L. de F. da; SOUZA, C. de. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1556-1562, 2011.

SILVA, E. T. da; CUNHA, J. L. X. L.; MADALENA, J. A.; DA SILVA, J. A. C.; SILVA, W. T. da. Produção de milho (*Zea mays* L.) em consórcios com gramíneas forrageiras. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 4, p. 29-34, 2008.

SILVA, D. F. da; PEGORARO, R. Facco; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D. de; MOTA, M. F. C. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e nitrificação na cultura do abacaxi. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 327-335, 2017.

SILVA, D. S. da; SILVA, M. A. da; CARVALHO, H. W. L. de; DOMPIERI, M. H. G.; CUENCA, M. A. G. Análise da dinâmica e dependência espaciais da produção de milho no território rural “Sertão Ocidental” sergipano. **Scientia Plena**, v. 1, n.8, 2019a.

SILVA, D. S. da; MOURA, F. R. de; SILVA, M. A. S. da; SILVA, A. A. G. da S. Avaliação do efeito espacial na produção do milho no sertão sergipano. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20677-20701, 2019b.

SILVA, S. B. dos S. **Agronegócio e os impactos socioambientais do uso de agrotóxicos na vida de trabalhadores do campo em áreas de produção de milho no município de Carira, SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015. 204 p.

SILVA, T. M. M. da. **Sustentabilidade do sistema agrícola com milho em agricultura familiar em Simão Dias-SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016. 98 p.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista; 2001.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 13p. 2015.

SOBRAL, L. F. Adubação e calagem. In: PACHECO, C. A. P.; de CARVALHO, H. W. L.; CARDOSO, M. J.; da ROCHA, L. M. P. **Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos**. Embrapa, Brasília, 2016.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHENEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS; UFRGS, 2002. 126p.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L. C.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TOMZHINSKI, G. W. T.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. do C. Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 201-211, 2011.

VALERIANO, M. de M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1-8.

VASCONCELOS, N. S.; DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, J. F. de; LIMA, C. J. G. S. Qualidade das águas subterrâneas de área irrigada da comunidade de Pau Branco em Mossoró (RN). **HOLOS**, [S.l.], v. 1, p. 47-63, 2013.

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P. Custos de produção e indicadores de desempenho: metodologia aplicada a sistemas de produção de ovinos. **Custos e @agronegócio online**, v. 4, n. 3, 2008.

3 LIMITAÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS À SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE MILHO NA MICROBACIA DO RIO SOCAVÃO, EM CARIRA-SE

RESUMO: A produção de milho em regime sequeiro elevou-se de modo significativo na região oeste do estado de Sergipe a partir de 2008, sobretudo pela difusão de novas tecnologias. Entretanto, o cultivo tem se mostrado vulnerável às condições climáticas típicas do semiárido. As características intrínsecas dos solos do semiárido sergipano e o emprego inadequado de práticas de manejo do solo podem estar agravando a vulnerabilidade do cultivo ao clima da região, contribuindo para a instabilidade da produção, que tem apresentado significativa variabilidade de rendimento. O presente estudo tem como objetivo analisar aspectos edafoclimáticos limitantes à sustentabilidade da exploração da cultura do milho na microbacia do rio Socavão, em Carira. Para tanto, foi utilizada a análise de correlação de Pearson para correlacionar dados de temperatura e precipitação anual com variáveis produtivas entre os anos de 2008 e 2018. Índices de vegetação disponíveis no sistema SATVeg foram utilizados para avaliar a interferência da precipitação na produção de milho. Análises de fertilidade do solo e testes de Resistência Mecânica à Penetração (RMP) e de Densidade do solo (Ds) foram realizados para avaliar a qualidade física e química dos solos. O relevo foi avaliado em ambiente SIG a partir de dados matriciais gerados pelo projeto Topodata, enquanto os solos foram avaliados com base nos mapeamentos disponibilizados pelo IBGE e pela Embrapa. As variáveis de produção avaliadas apresentaram forte correlação positiva com a precipitação anual e significância estatística segundo teste T-Student. O teste de RMP e a Ds indicaram a presença de camada subsuperficial compactada decorrente do preparo convencional do solo. Os valores de RMP e Ds obtidos indicam a presença de restrição física ao aprofundamento do sistema radicular. Os solos predominantes na microbacia apresentam caráter abráptico, litólico e plintossólico, estas características tendem a dificultar a infiltração de água no solo, além de torná-los mais suscetíveis à erosão e demasiadamente coesos, quando secos, restringindo sua profundidade efetiva. Os atributos químicos analisados não fornecem limitações à produção agrícola, desde que sejam realizadas adubações nitrogenadas e fosfatadas. A predominância de relevo plano a suavemente ondulado favorece a atividade ao possibilitar a mecanização agrícola. Enquanto a ocorrência de solos compactados, rasos e pedregosos, com baixa profundidade efetiva simultaneamente a adoção de práticas de manejo não conservacionistas e, sobretudo, a irregularidade espaço temporal das chuvas, oferecem restrição à sustentabilidade da exploração da cultura do milho. Além disso, o manejo inadequado do solo constitui-se em fonte potencial de degradação dos recursos naturais.

Palavras chave: Compactação. Manejo do solo. Semiárido.

LIMITATIONS EDAPHOCLIMATIC TO THE SUSTAINABILITY OF CORN PRODUCTION IN THE SOCAVÃO RIVER MICRO WATERSHED, IN CARIRA-SE

ABSTRACT: In the last decades, profound changes in the agricultural context of the Sergipe semiarid region happened, especially in the western region of the state, which has become an important producer pole of corn under dry conditions. The production of corn has increased significantly since 2008, due to the diffusion of new technologies. However, the crop has been shown vulnerable to climatic conditions of the semiarid region. The intrinsic characteristics of soils in the Sergipe semiarid region and the use of inadequate practices of soil management may aggravate the crop's vulnerability to the region's climate and generate instability in production.

The present study aims to analyze soil and climate aspects limiting to the sustainability of maize crop exploitation in the Socavão River micro watershed, Carira municipality. Pearson analysis was used to correlate annual precipitation and temperature with variables productive, between the years 2008 and 2018. Vegetation index (NDVI) available in the SATVeg system were used to assess the interference of the precipitation in corn production. Mechanical Resistance to Penetration (RMP) and of Density (Ds) tests were used to evaluate soil physical properties, as well as fertility analyses of soil. The land slope was evaluated in a GIS environment from matrix data created by the Topodata project, while the soil characteristics were evaluated based on the soil mapping provided by IBGE and Embrapa. The production variables showed a strong positive correlation with the annual precipitation and statistical significance according to the T-Student test. The values of RMP and Ds obtained indicate the presence of physical restriction to the development of the root system. The predominant soils in the micro watershed present abrupt and plintosolic character, these characteristics tend to hinder water infiltration into the soil, in addition to making it more susceptible to erosion and too cohesive, when dried, restricting their effective depth. We concluded that the occurrence of compacted, shallow and soils, with low effective depth, simultaneously with the adoption of inadequate management practices and the irregularity spatial and temporal the rainfall regime, can restrict the sustainability of corn crop exploitation. In addition, inadequate soil management is a potential source of degradation of natural resources.

Key words: Compacted soil. Soil management. Semiarid.

3.1 Introdução

Nas últimas décadas o cultivo de milho em Sergipe modernizou-se, sobretudo pela incorporação de novas tecnologias e pelo elevado aporte de capital financeiro (OLIVEIRA, 2011). A produção concentrou-se no oeste sergipano, tendo como destaque o município de Carira (SILVA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2019b) localizado no semiárido sergipano. Em consequência desta modernização, a produtividade da cultura apresentou crescimento expressivo em Carira. Entretanto, a exploração da cultura do milho tem se revelado vulnerável a fatores climáticos adversos, considerando que o clima do semiárido nordestino é caracterizado por apresentar elevadas temperaturas, altas taxas de evaporação e irregularidade espaço-temporal na distribuição das chuvas (MARENGO *et al.*, 2011). Estas características contribuem para a alternância de safras altamente produtivas, com safras de baixo rendimento, o que tem ocorrido no município de Carira, especialmente nos últimos anos (IBGE, 2019e).

Fatores edáficos podem estar contribuindo para a vulnerabilidade do cultivo do milho ao clima do município de Carira, à medida que a relação entre o solo e o clima interfere no desenvolvimento da cultura (SANS; SANTANA, 2002). Logo, os fatores edafoclimáticos expressam grande influência no desenvolvimento da cultura do milho, especialmente em regiões semiáridas (DIAS; SILVA, 2015).

Em termos climáticos a precipitação e a temperatura são os fatores que mais interferem na produção de milho na região Nordeste, enquanto a topografia, a textura e a profundidade efetiva do solo constituem-se em aspectos edáficos cruciais para a escolha de áreas mais propensas ao cultivo de milho. Solos com textura arenosa, com reduzida profundidade efetiva, com a presença de argilas expansivas e com declividade média superior a 12% não são indicados para o cultivo de milho (SANS; SANTANA, 2002). Estas características ocorrem com frequência nos solos do semiárido, devido ao clima da região que induziu a formação de solos jovens, caracterizados pela pouca espessura e profundidade efetiva reduzida, presença de afloramentos rochosos, além de horizontes subsuperficiais pouco desenvolvidos, com a presença frequente de argilominerais 2:1 e plintita, logo abaixo, de um horizonte relativamente delgado, com maior macroporosidade (JACOMINE *et al.*, 1975; LEPSCH, 2010; MARQUES *et al.*, 2014).

Os aspectos edafoclimáticos são importantes também para a definição de sistemas de produção, que interferem no desenvolvimento da cultura e impactam na qualidade dos recursos naturais, sobretudo a água e solo (SANS; SANTANA, 2002). Portanto, no semiárido sergipano o manejo inadequado do solo pode estar agravando a vulnerabilidade da cultura do milho devido a inobservância de práticas de conservação do solo. Na região é comum o plantio morro abaixo, o uso de grade aradora e em condição de umidade do solo inadequada, além da ausência de cobertura vegetal ou morta no solo. Estas práticas podem estar desencadeando processos de degradação ao promover a compactação do solo, reduzindo a infiltração e a capacidade de armazenamento da água das chuvas. Além de acelerar processos erosivos, ocasionando a perda de solos férteis e, conseqüentemente, interferindo na produção da cultura (NOGUEIRA JUNIOR *et al.*, 2015) e na sustentabilidade da atividade. Um sistema agrícola somente pode ser considerado sustentável ao manter a produtividade, estabilidade, resiliência e a equidade do agroecossistema e dos recursos naturais (MÜLLER, 1996; COSTA, 2010).

Diante das interferências edafoclimáticas sobre a produção agrícola torna-se imprescindível adotar medidas que diminuam a vulnerabilidade da exploração da cultura do milho no semiárido sergipano. Para tanto, é necessário conhecer os efeitos da temperatura, precipitação e dos fatores edáficos na produção de milho. Assim, o objetivo do presente estudo é analisar aspectos edafoclimáticos limitantes à sustentabilidade da exploração da cultura do milho na microbacia do rio Socavão, em Carira.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização da área do estudo

O rio Socavão nasce no município de Carira, no semiárido de Sergipe, apesar do seu caráter intermitente constitui-se em importante afluente do rio Sergipe, em seu alto curso (SERGIPE, 2015). Para este estudo, a microbacia do rio Socavão foi delimitada automaticamente através de algoritmos de modelagem hidrológica do *software* GRASS instalado no QGIS 3.6 Noosa, a partir da alocação de ponto exutório próximo à divisa dos municípios sergipanos de Carira e Nossa Senhora Aparecida, tendo como base os dados de elevação do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019). A área da microbacia perfaz 7.556,6719 hectares, localizando-se quase que integralmente no município de Carira, estado de Sergipe.

O milho é cultivado intensamente na região em sistema de monocultura através de pacote tecnológico baseado no uso de sementes transgênicas e na aplicação maciça de produtos químicos (defensivos e fertilizantes) aliado ao uso intensivo de mecanização agrícola em todas as fases da cultura. O preparo do solo é feito de forma convencional na maioria dos estabelecimentos rurais através do uso recorrente de grades pesadas e niveladoras (OLIVEIRA, 2010; SANTOS, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS, 2013; SILVA, 2015; CUNHA, 2015; OLIVEIRA, 2019).

O clima da microbacia do rio Socavão é classificado por Köppen, como tropical com estação seca de verão (As), com seis ou mais meses secos, com temperatura média acima de 18°C durante todo ano (IBGE, 2019b; ALVARES *et al.*, 2013). A média anual de precipitação na região é de 715 mm, entretanto, o regime pluviométrico é irregular, com chuvas concentradas entre os meses de maio a julho, com precipitações médias próximas a 100 mm/mês, enquanto que entre os meses de outubro a janeiro são registrados os menores índices pluviométricos, com precipitações inferiores a 40 mm/mês (EMBRAPA, 2016). De acordo com Santos *et al.* (2009) a precipitação anual em Carira apresenta coeficiente de variação de 34,68%, o que denota o caráter irregular das chuvas na região.

Os solos predominantes na microbacia do rio Socavão pertencem a classe dos Argissolos, entretanto, há registros da ocorrência de Luvisolos, Neossolos Litólicos e Planossolos (IBGE, 2019c; IBGE, 2019d), em menor proporção ocorrem Cambissolos e Espodossolos (LUZ *et al.*, 2012).

A vegetação nativa originária da microbacia do rio Socavão é representada por Savana-Estépica Arborizada (caatinga hipoxerófila), que ocupava aproximadamente 80% da sua área (IBGE, 2019f). Atualmente, a vegetação remanescente encontra-se fragmentada, ocupando apenas 9% da sua área original (MAPBIOMAS, 2019).

3.2.2 Dados climáticos e de produção agrícola

Foram utilizados dados de precipitação mensais e anuais entre os anos de 1963 a 2019, para verificar possível interferência climática na produção de milho. Os dados de precipitação foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia e são provenientes da estação automatizada Carira-A420 (INMET, 2019), localizada a 13 km da área do estudo. Além destes, foram utilizados dados de precipitação da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO, 2019) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste disponibilizados no portal *Hidroweb*²¹ da Agência Nacional das Águas (ANA, 2019). Os dados de temperatura analisados foram disponibilizados pelo INMET (2019) e correspondem aos anos de 2008 a 2018.

Os dados de produção, produtividade, área plantada e área colhida para a cultura do milho foram disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para os anos de 2003 a 2018 (IBGE, 2019e). Adotou-se como marco inicial o ano de 2008 por simbolizar a transformação produtiva ocorrida no município com o aumento significativo da área cultivada, bem como da produção e da produtividade das lavouras de milho devido a incorporação de pacote tecnológico amparado no uso de sementes de alto vigor, especialmente, transgênicas. Além do uso intensivo de fertilizantes e defensivos químicos (OLIVEIRA, 2019; SILVA, 2015; CUNHA, 2015; SANTOS, 2013; SANTOS, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; OLIVEIRA, 2010).

A partir dos dados de produção agrícola municipal entre os anos de 2008 e 2018 (IBGE, 2019e) foram realizadas correlações entre variáveis de produção (quantidade de grãos produzida, área colhida e rendimento por hectare) e as precipitações anuais do município. Aplicou-se o método de correlação linear de Pearson para obtenção do coeficiente de correlação (*r*). Os resultados foram submetidos ao teste de significância de *T-Student* para verificar se

²¹ O Portal HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos (ANA, 2019).

possuem, ou não, significância estatística ao nível de 95%. Complementarmente, foi avaliado o balanço hídrico sequencial disponibilizado pelo INMET (2020) referente aos anos de 2011 a 2019, e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) obtido no Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) (EMBRAPA, 2014) entre os anos de 2008 e 2019. Para tanto, foram distribuídos de forma aleatória 15 pontos amostrais em lavouras de milho localizadas na microbacia do rio Socavão, sendo que o *pixel* de cada ponto corresponde a 6,25 hectares. Os valores do NDVI foram previamente filtrados para exclusão de valores sob interferência de nuvens ou com valores nulos e, posteriormente, submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey ao nível de 5% de significância, para identificar diferenças espectrais significativas, derivadas de deficiência hídrica em safras com baixa produção. Como referência utilizou-se os valores de NDVI obtidos na safra de 2014, que apresentou elevada produção e rendimento, cerca de 6.000 kg/ha⁻¹.

3.2.3 Fatores edáficos

A qualidade do solo da microbacia do rio Socavão foi avaliada através de análise química de fertilidade, enquanto as propriedades físicas foram analisadas através de ensaios da densidade do solo (Ds) e de sua resistência mecânica à penetração (RMP). Para tanto, foram realizados ensaios *in loco* e a coleta de amostras de solo em estabelecimentos rurais que cultivam milho em sistema convencional na microbacia do rio Socavão.

Os testes de RMP e a análise da Ds foram realizados em setembro de 2019, em quatro imóveis rurais, a partir da utilização de penetrômetro eletrônico, modelo Falker SoloTrack PLG 5200. As leituras foram obtidas até a profundidade de 50 cm e analisadas através de cinco repetições em cada estabelecimento, enquanto a análise da densidade do solo demandou a coleta de amostras simples indeformadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições em cada imóvel. A densidade foi determinada em laboratório através do método do anel volumétrico conforme Teixeira *et al.* (2017). Adicionalmente obteve-se a umidade do solo das amostras coletadas por meio da pesagem da massa úmida e seca após permanecer por 48 horas em estufa a 105 °C (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A fertilidade do solo foi avaliada através de amostras compostas deformadas coletadas na profundidade de 0-20 cm em sete estabelecimentos rurais. Em laboratório, analisou-se o pH em água, acidez trocável (Al³⁺), acidez potencial (H + Al), fósforo (P), potássio disponível (K⁺), cálcio disponível (Ca²⁺), magnésio disponível (Mg²⁺), capacidade de troca catiônica (CTC),

matéria orgânica do solo, índice de saturação por base (V), saturação por Al (*m*) e soma de bases trocáveis (SB), conforme metodologia disponível em Teixeira *et al.* (2017). Os resultados foram confrontados com valores recomendados na literatura (SOBRAL *et al.*, 2015). Complementarmente a realização dos ensaios físicos e químicos observou-se a ocorrência de processos erosivos nos imóveis visitados.

Para identificação dos solos da microbacia do rio Socavão utilizou-se o mapeamento de solos disponibilizado pelo IBGE em escala 1:250.000 (IBGE, 2019c) através de arquivos vetoriais em formato *shapefile*. Além de mapa exploratório de reconhecimento de solos do estado de Sergipe disponibilizado pela Embrapa em escala 1:400.000 (EMBRAPA, 2019).

O relevo da microbacia do rio Socavão foi avaliado a partir de dados matriciais de Modelo Digital de Elevação e de suas derivações disponibilizadas pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005; INPE, 2019). Os dados derivam da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), porém foram refinados e reamostrados, tendo sua resolução espacial alterada para 30 metros. Os dados foram analisados no *software* QGIS 3.6 Noosa e classificados de acordo com as classes de relevo propostas por Santos *et al.* (2013).

3.3 Resultados e discussão

A cultura do milho necessita entre 400 e 600 mm de precipitação durante o ciclo da cultura (MAPA, 2019). Segundo Fornasieri Filho (1992) o milho necessita em média de 573 mm de água para completar seu ciclo vegetativo sem deficiência hídrica. Entretanto, ao analisar uma série histórica de dados de precipitação no município de Carira entre os meses de abril a setembro de 1963 a 2019, verifica-se que 25% dos anos avaliados apresentaram índices pluviométricos iguais ou inferiores a 400 mm. Portanto, abaixo do recomendado para a cultura. Este intervalo de seis meses contempla com folga todo o ciclo da cultura, considerando o plantio de cultivares com maturidade relativa entre 110 a 145 dias a partir da segunda quinzena de abril (SILVA; PACHECO, 2014). Em Carira, nos últimos nove anos, cinco apresentam precipitação acumulada abaixo de 400 mm entre os meses de abril a setembro, o que pode indicar uma redução gradativa das chuvas ou a ocorrência de um período cíclico com menores volumes de precipitação (CRUZ *et al.*, 2014).

A partir de 2008, a produção e a produtividade da cultura de milho em Carira atingem outro patamar, sobretudo devido a consolidação de novas tecnologias e pela expansão da área

cultivada (PRATA, 2013; SILVA *et al.*, 2019a). Silva *et al.* (2019b) levantam a hipótese que o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) influenciou à elevação do nível produtivo. Em 2008, foram incorporadas a cultura 18 mil hectares, passando a ser cultivado cerca de 35 mil hectares no município. Entre os anos de 2008 e 2018, a área plantada manteve-se relativamente estável, com coeficiente de variação de 12%, enquanto a produção, a produtividade e a área colhida apresentaram maior volatilidade obtendo coeficientes de variação de 65%, 44% e 51%, respectivamente (IBGE, 2019e).

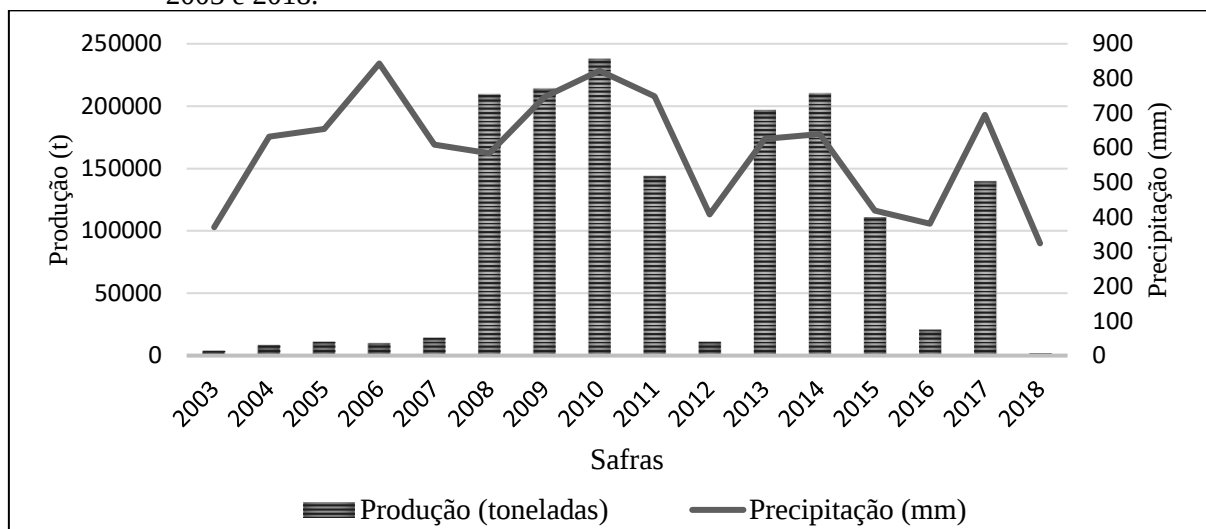
O coeficiente de correlação de Pearson revela que as variáveis de produção do milho dos últimos 11 anos apresentaram correlações positivas (direta) com a precipitação anual. Os resultados apresentaram significância estatística segundo teste T-Student. A precipitação anual e a quantidade de milho em grãos produzidos apresentaram correlação positiva (direta) de 0,88, enquanto, que a produtividade e a área colhida apresentaram correlações diretas de 0,82 e 0,84, respectivamente. Conforme Devore (2006) *apud* Belucio *et al.* (2014) correlações entre 0,70 e 0,89 são consideradas fortes.

A forte correlação positiva existente entre a precipitação anual e as variáveis analisadas revelam a importância das chuvas na produção da cultura do milho em regime sequeiro. Quando a precipitação aumenta, a produção e a produtividade também tendem a aumentar. Portanto, em anos chuvosos há um viés de elevação da produção e, conseqüentemente, a renda dos agricultores tende a elevar-se também devido a maior produtividade. Resultados similares foram encontrados por Dias e Silva (2015) e Silva e Silva (2016) ao estudarem a variabilidade pluviométrica e indicadores de produção agrícola no semiárido do estado do Ceará.

De acordo como os resultados cerca de 77% da variação da produção de milho entre os anos de 2008 e 2018 é explicada pelo nível de ocorrência local da precipitação anual. Logo, este período realça com maior intensidade a influência da precipitação nas variáveis de produção analisadas ao minimizar a influência de outras variáveis, como o tipo e o nível da tecnologia empregada e o tamanho da área cultivada, que se manteve relativamente estável a partir de 2008, sem grandes oscilações (12%) (IBGE, 2019a; IBGE, 2019e).

As perdas de produção ocorridas nas safras de 2012, 2016 e 2018 associam-se fortemente a deficiência hídrica ocorrida na região (Figura 3.1). Contudo, a produtividade não é definida apenas pelo volume anual de precipitação, mas também pela sua distribuição ao longo do ciclo da cultura. Uma distribuição descontínua pode provocar uma queda na produtividade (CRUZ *et al.*, 2014).

Figura 3.1 – Interação entre a produção de milho e a precipitação anual no município de Carira entre 2003 e 2018.



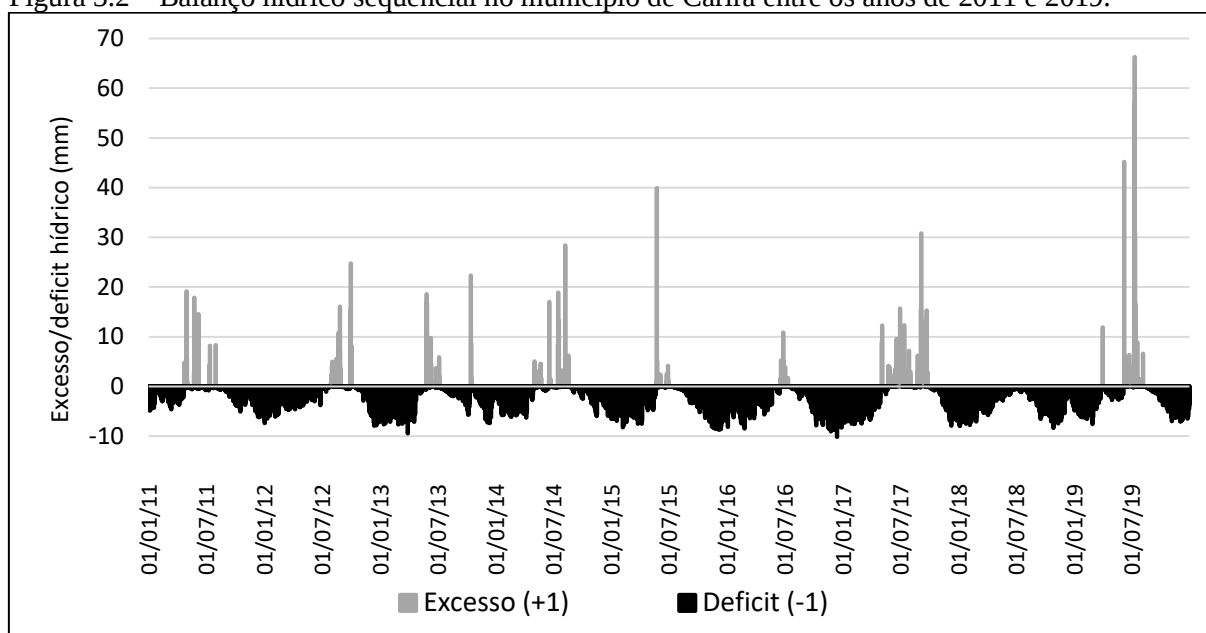
Fonte: IBGE (2019e); INMET (2019). Elaboração: Autor (2019).

A partir de 2008, as menores produções de milho em Carira coincidiram sempre com períodos de baixa precipitação anual, excetuando a safra de 2015, onde foi produzido cerca de 100 mil toneladas de milho, cerca de cinco vezes mais do produzido na safra de 2012, apesar dos índices pluviométricos anuais apresentarem pouca variação, cerca de 3% (INMET, 2019; IBGE, 2019e).

A maior produção obtida em 2015 está associada, possivelmente, ao maior excedente hídrico registrado ao final do mês de junho, cerca de 40 mm, que garantiu maior disponibilidade hídrica na fase reprodutiva da cultura (Figura 3.2).

De acordo com Magalhães e Durães (2006) a ocorrência de estresse hídrico durante dois dias durante o florescimento reduz o rendimento em 20% e entre quatro a oito dias diminui o rendimento em mais de 50%. Portanto, as maiores perdas de produtividade estão associadas a ocorrência de estresse hídrico entre as duas semanas anteriores ao espigamento, bem como as duas semanas seguintes. Este período contempla a fase de florescimento e de enchimento dos grãos (formação de rendimento). A maior sensibilidade a deficiência hídrica neste período, ocasiona redução irreversível no rendimento de grãos, diminuindo seriamente o seu número, e consequentemente o tamanho das espigas (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014; DURÃES, 2007). Os valores ideais de precipitação diária para a cultura do milho raramente excedem 3,0 mm, porém durante o período de espigamento e de maturação do grão a demanda pode elevar-se para 5,0 a 7,0 mm diários. Em climas quentes e com baixa umidade a demanda diária por água pode atingir 10,0 mm (DAKER, 1973).

Figura 3.2 – Balanço hídrico sequencial no município de Carira entre os anos de 2011 e 2019.

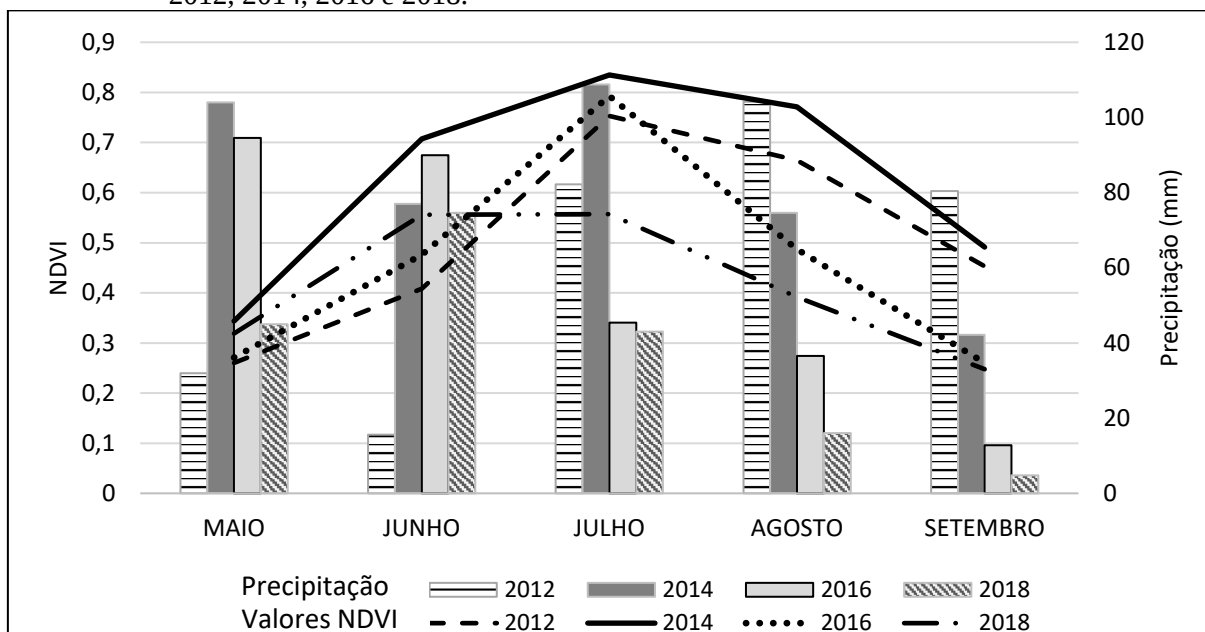


Fonte: INMET (2020). Elaboração: Autor (2019).

O déficit hídrico ocorrido nas safras de 2012, 2016 e 2018 também afetou a produção de milho na microbacia do rio Socavão. Através da análise das curvas do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) obtidas em cultivos inseridos na microbacia, verifica-se que a distribuição irregular das chuvas ao longo do ciclo da cultura motivou a baixa produtividade nestas safras, tendo como referência os índices de vegetação observados na safra de 2014, que apresentou elevada produção e rendimento (6.000 kg/ha^{-1}) (Figura 3.3). O prolongamento de períodos com valores elevados de NDVI proporciona maior produtividade a cultura do milho, enquanto em lavouras sob intenso estresse hídrico, o período de permanência de valores elevados é reduzido pela diminuição do índice de área foliar verde, inibindo a resposta espectral da planta (MACEDO; RUDORFF, 2003).

As curvas revelam que os valores do NDVI foram superiores na safra de 2014 em relação as safras de 2012, 2016 e 2018, pela melhor distribuição das chuvas, o que denotou maior vigor às plantas durante os estádios vegetativo e reprodutivo. Diferentemente, observa-se na safra de 2012, menor resposta espectral da vegetação, especialmente nos meses iniciais da cultura (meses de maio e junho) devido as menores precipitações registradas no período. Nas safras de 2016 e 2018, a curva NDVI indica que a quebra da safra foi motivada por estresse hídrico ocorrido, sobretudo, após o mês de julho e agravado nos meses subsequentes. O estresse hídrico provoca redução no vigor e na altura das plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) e o enrolamento das folhas (SANTOS; CARLESSO, 1999), o que influi na resposta espectral das plantas cultivadas em regime sequeiro (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Figura 3.3 – Interação entre precipitação anual e valores de NDVI da cultura do milho nas safras de 2012, 2014, 2016 e 2018.



Fonte: INMET (2019); EMBRAPA (2019). Elaboração: Autor (2019).

Através do teste de Tukey a 5% de probabilidade verifica-se que os valores de NDVI obtidos na safra de 2014 para os meses de maio, junho e agosto diferem significativamente dos valores encontrados nas safras de 2012, 2016 e 2018 (Quadro 3.1). Os valores médios do NDVI do mês de maio derivam da variação no período do plantio que, geralmente, tem início nas primeiras chuvas (SANTANA, 2019). No mês de julho, o valor médio do NDVI da safra de 2018 destoa significativamente dos demais, possivelmente, em razão de menores precipitações nos meses de maio e julho. As safras de 2016 e 2018 apresentam valores próximos em setembro, diferenciando-se estatisticamente dos demais em razão das menores precipitações registradas a partir de julho.

Quadro 3.1 – Valores médios do índice de vegetação NDVI entre os meses de junho e setembro, nas safras de 2012, 2014, 2016 e 2018, na microbacia do rio Socavão, em Carira/SE.

SAFRA	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
2012	0,319 ab	0,556 b	0,753 a	0,665 b	0,453 a
2014	0,344 a	0,708 a	0,835 a	0,771 a	0,491 a
2016	0,271 b	0,476 bc	0,793 a	0,487 c	0,260 b
2018	0,260 b	0,408 c	0,557 b	0,392 d	0,248 b

Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Embrapa (2019). Elaboração: Autor (2019).

A ocorrência de déficit hídrico no mês de junho tende a influenciar a produtividade da cultura do milho, considerando que neste mês foi observada a maior diferença entre os valores do NDVI da safra de 2014 em relação aos valores das safras de 2012, 2016 e 2018.

Valores médios do NDVI abaixo de 0,60 no mês de junho estão associados a menores rendimentos da cultura do milho na área do estudo (Quadro 3.2). Macedo e Rudorff (2003) também observaram perdas de produtividade em lavouras de milho com valores do NDVI inferiores a 0,60 nas fases de floração e enchimento de grãos, período de maior sensibilidade da cultura ao déficit hídrico.

Quadro 3.2 – Valores médios do índice de vegetação NDVI do mês de junho nas safras de 2008 a 2019, na microbacia do rio Socavão, em Carira/SE.

SAFRA	Valores médios do NDVI	Grupos	Rendimento (kg/ha ⁻¹)
2008	0,750	a	5.940
2009	0,743	a	5.940
2010	0,707	ab	5.940
2011	0,753	a	3.990
2012	0,408	e	1.080
2013	0,673	abc	6.240
2014	0,708	ab	6.000
2015	0,585	bcd	3.170
2016	0,476	de	2.970
2017	0,718	ab	4.500
2018	0,556	cd	1.440
2019	0,537	cde	-

Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Embrapa (2019); IBGE (2019e). Elaboração: Autor (2019).

O baixo valor médio do NDVI para o mês de junho na safra de 2019, inferior a 0,60, justifica-se pelo plantio tardio da safra em decorrência da escassez de chuvas no mês de maio, que retardou o desenvolvimento vegetativo das plantas (INMET, 2019). De acordo com Macedo e Rudorff (2003) variações no valor do NDVI podem decorrer de datas distintas de semeadura e pela utilização de cultivares de ciclo distintos.

Os resultados da análise das curvas do NDVI confirmam a influência direta da precipitação na produção de milho na microbacia do rio Socavão, corroborando com a forte correlação identificada para estas variáveis em nível municipal. Entretanto, nem sempre o NDVI apresenta relação com variáveis produtivas, por retratar características da cultura

associadas somente a área foliar, que não se correlaciona necessariamente com a produção de grãos, como ocorre no fenômeno conhecido por seca verde (MACEDO; RUDORFF, 2003).

A distribuição irregular das chuvas compromete a sustentabilidade da exploração da cultura do milho ao proporcionar instabilidade produtiva. Para Müller (1996) e Costa (2010) um sistema agrícola somente pode ser considerado sustentável quando mantém a sua produtividade. Contudo, no semiárido nordestino a produção de milho também é influenciada pela temperatura, o que torna importante sua análise (SANS; SANTANA, 2002). Em Carira, a temperatura média anual varia entre 21,5 e 26,7 °C, sendo que a temperatura média máxima não ultrapassa 30 °C nos meses de maior interesse agrônomo (maio a setembro). Nestes meses, as temperaturas médias noturnas oscilaram entre 22,1 e 24,7 °C (INMET, 2019).

De acordo com Sans e Santana (2002) temperaturas médias superiores a 26 °C beneficiam a cultura do milho ao acelerar a floração das plantas. Entretanto, temperaturas acima de 33 °C reduzem a germinação do grão de pólen, enquanto temperaturas noturnas superiores a 24 °C prejudicam a cultura, ao aumentar a respiração da planta, reduzindo a produção de fotoassimilados (SANS; SANTANA, 2002). Aparentemente a temperatura média durante o desenvolvimento e maturação da cultura não se constitui em fator preponderante para determinação da produção da cultura do milho em Carira, considerando sua correlação negativa (inversa) e moderada com as variáveis quantidade produzida de grãos, área colhida e produtividade, respectivamente, -0,47, -0,45 e -0,41. Conforme Devore (2006) *apud* Belucio *et al.* (2014) correlações entre -0,40 e -0,69 são consideradas moderadas. Porém, ressalta-se que limitações por altas temperaturas são mais complexas e de difícil detecção, sobretudo, quando estão associadas a deficiência hídrica (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

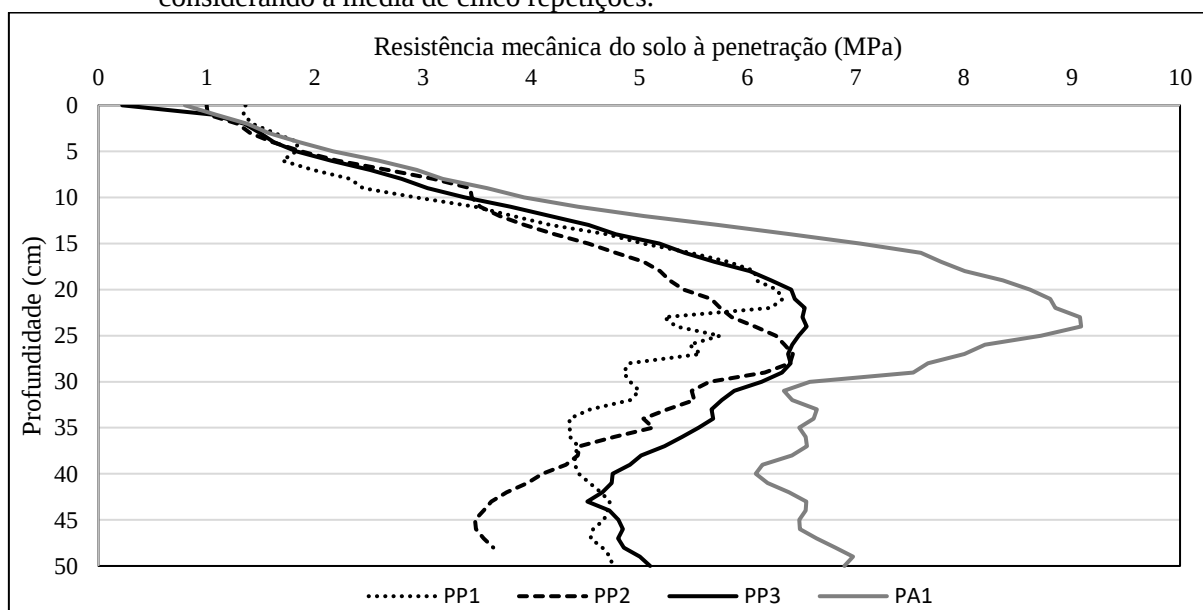
De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000) temperaturas do solo superiores a 40 °C prejudicam sensivelmente a germinação das sementes de milho. Portanto, altas temperaturas do solo podem afetar a germinação na microbiciada do rio Socavão, especialmente, na segunda quinzena do mês de abril, quando tem início o plantio de milho (MAPA, 2019). Em abril a temperatura máxima do ar atinge valores acima de 35 °C, com média de 31,3 °C (INMET, 2019), porém no solo a temperatura é ainda maior. A ausência de cobertura no solo devido o manejo convencional, acaba por intensificar a incidência da radiação solar no solo, que tipicamente é elevada no semiárido nordestino (INMET, 2019).

O manejo convencional do solo também provoca sua compactação subsuperficial em razão do uso recorrente de grades aradoras, principalmente quando manejado em condições de excesso de umidade (PACHECO *et al.*, 2016; NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI,

2016). Como consequência forma-se uma camada compactada abaixo da profundidade de trabalho conhecida como pé-de-arado ou pé-de-grade, que a depender do nível de compactação pode impedir o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular e diminuir a infiltração de água no solo (MENTGES *et al.*, 2011; ROSA, 2007).

Os testes de RMP realizados na área do estudo, revelam a presença de uma camada de maior resistência à penetração, sobretudo, entre 15 e 30 cm de profundidade nos quatro solos amostrados (Figura 3.4). Os valores médios de RMP neste intervalo foram extremamente elevados, sendo superiores a 5,0 MPa. Portanto, muito acima do limite crítico para o desenvolvimento do sistema radicular estimado entre 2,0 e 2,5 MPa (CAMARGO; ALLEONI, 1997; REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Figura 3.4 – Resultados médios de Resistência Mecânica do solo à Penetração (MPa) ao longo do perfil do solo com cultivo de milho em sistema convencional na microbacia do rio Socavão, considerando a média de cinco repetições.



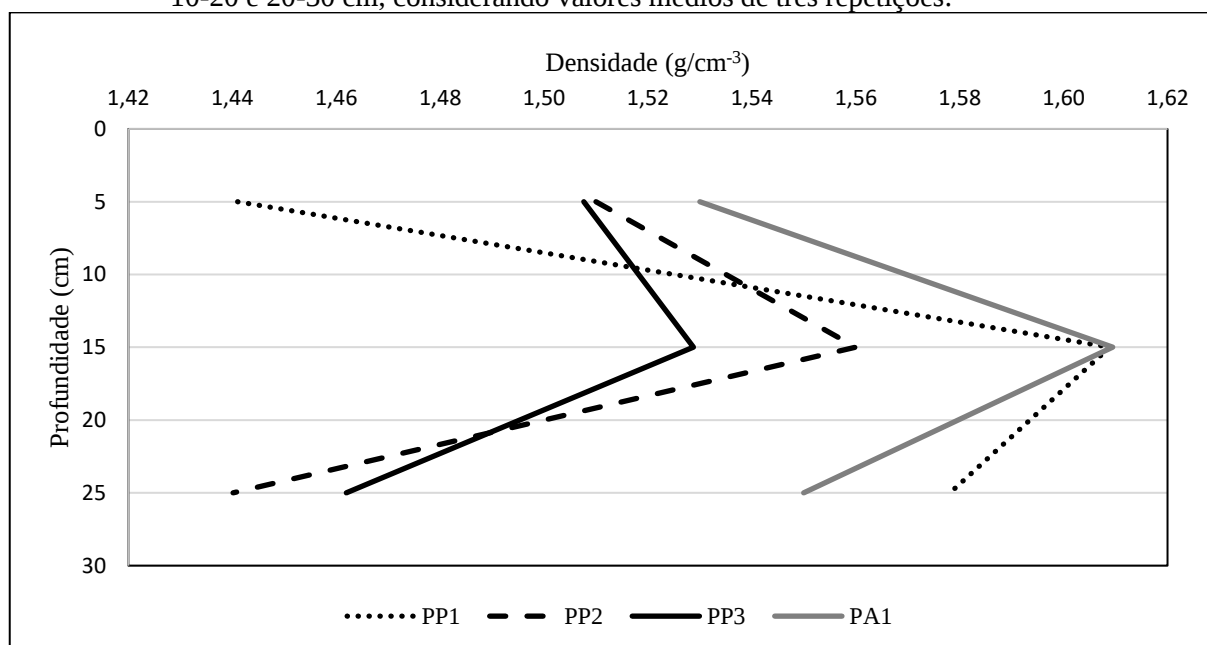
Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2019).

Nas camadas mais superficiais (5 e 10 cm) foram observados valores de RMP próximos a 3,0 MPa. Estes valores impõem resistência física ao desenvolvimento das raízes. Os resultados indicam também uma retração da compactação após 30 cm de profundidade. Ressalta-se que a umidade média dos solos amostrados apresentou variação entre 9 e 13% nas profundidades médias de 0-30 cm. As amostras coletadas nos estabelecimentos rurais denominados PA1 e PP3 apresentaram 9% de umidade média, enquanto os solos amostrados nos imóveis rurais PP2 e PP1 apresentaram 13% e 10%, respectivamente.

Os valores elevados de RMP podem estar associados ao manejo convencional do solo, que promove menor adensamento das camadas superficiais e a formação de uma camada compactada logo abaixo da camada arável (ROSA, 2007; RALISCH *et al.*, 2008). Entretanto, os elevados valores de RMP também derivam da baixa umidade do solo durante os ensaios, que acaba aumentando a coesão entre as partículas do solo, exigindo maior força externa para separá-las (SILVEIRA *et al.*, 2010). De acordo com Serafim *et al.* (2008) os valores de RMP são inversamente proporcionais ao teor de umidade do solo.

Na prática a análise da RMP pode não ter significado algum quando avaliada isoladamente, considerando que a umidade influencia de modo expressivo a sua determinação (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003), além do teor de matéria orgânica e a textura do solo (VAZ *et al.*, 2002). Entretanto, os valores de densidade, que recebem pouca influência da umidade do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), corroboram com os resultados dos testes de RMP ao revelar menor adensamento das camadas superficiais (0 – 10 cm) e maior compactação do solo na profundidade de 15 cm (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Valores médios de Densidade do solo ao longo do perfil do solo com cultivo de milho em sistema convencional na microbacia do rio Socavão, nas profundidades médias de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, considerando valores médios de três repetições.



Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração: Autor (2019).

Os valores de densidade do solo variaram entre 1,44 a 1,53 g/cm³ nas camadas mais superficiais. De acordo com Reichert, Reinert e Braida (2003) valores de densidade do solo,

próximos a $1,50 \text{ g/cm}^3$ são considerados críticos para o desenvolvimento radicular em solos com textura média, similar a observada *in loco* durante a pesquisa.

A compactação do solo não compromete apenas o desenvolvimento do sistema radicular e, consequentemente, a produtividade da cultura (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003; CAPECHE, 2008). A compactação interfere também na capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo ao reduzir sua porosidade total, especialmente, sua macroporosidade (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005). A compactação altera o diâmetro dos macroporos, que se deformam por apresentam menor resistência, formando poros de menor diâmetro, reduzindo a condutividade hidráulica e a infiltração de água no solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Desta forma, a compactação do solo pode acentuar o escoamento superficial de água de chuva e, consequentemente, provocar a perda de solo por erosão hídrica (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007; SILVA *et al.*, 2011). Geralmente as chuvas da região apresentam intensidade fraca a moderada, variando entre 0,1 a 9 mm/h, porém como concentram-se em curto período de tempo (SOUSA *et al.*, 2006) tendem a ocasionar a saturação do solo, favorecendo o escoamento superficial e, consequentemente, a perda de solos férteis por erosão hídrica (SILVA *et al.*, 2011; LEPSCH, 2010). Além disso, o transporte de minerais primários do solo através do escoamento superficial das chuvas pode ocasionar a acumulação de sais em planícies aluviais e de inundação, tornando-as inaptas ao cultivo agrícola (PEDROTTI *et al.*, 2015), como observado *in loco* na área do estudo (Figura 3.6). De acordo com Brady e Weil (2013) solos salinos tendem a ocorrer em áreas baixas e planas, com lençol freático elevado, e que recebem água de drenagem de áreas superiores do relevo.

Os solos do semiárido naturalmente apresentam elevada susceptibilidade à erosão, considerando que são relativamente jovens, pouco intemperizados em razão de menores precipitações, que os tornam pouco profundos, com reduzida profundidade efetiva (LEPSCH, 2010). Esta característica física natural associada a condição climática da região favorece a erosão hídrica, tendo em vista que as chuvas são distribuídas irregularmente durante o ano, porém, concentram-se em poucos meses (SANTOS *et al.*, 2017). Chuvas concentradas provocam a saturação dos solos, propiciando o escoamento superficial da água excedente, e, consequentemente, a perda de solo (NOGUEIRA JUNIOR; AMORIM; DOMPIERI, 2016). Por isso, é comum no semiárido nordestino a presença de pedestais de erosão, caracterizados pelo afloramento de rochas no solo (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005), além da presença de seixos e cascalhos na superfície do solo, que devido ao seu maior tamanho não são carreados

pela erosão (LEPSCH, 2010). Entretanto, o processo natural de erosão hídrica é minimizado em solos sob cobertura florestal e acentuados em áreas agrícolas destinadas a culturas temporárias sob preparo convencional do solo (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

A difusão do plantio em desnível (morro abaixo) e o preparo convencional do solo com grade aradora (marcadamente em condições inadequadas de umidade do solo, fora da faixa de friabilidade), facilmente predispõem a compactação e assim tendem a constituírem-se em impeditivos a sustentabilidade da cultura do milho na microbacia do rio Socavão, considerando que elevam a susceptibilidade natural dos solos à erosão hídrica, comprometendo a conservação dos recursos naturais, como evidenciado *in loco* (Figura 3.6). Além disso, o manejo convencional acelera a decomposição da matéria orgânica do solo, impactando sobre a estrutura do solo em consequência do seu poder de cimentação e de estabilização dos agregados (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). A ausência de assistência e extensão rural pode estar contribuindo para este cenário de degradação dos solos, considerando que 77% dos estabelecimentos rurais de Carira não recebem assistência técnica (IBGE, 2019a). Neste contexto, Scheuer *et al.* (2018) observaram a partir da análise de indicadores de manejo e conservação do solo, que a carência de extensão rural e assistência técnica comprometeu a sustentabilidade de estabelecimentos agrícolas de base familiar no estado do Mato Grosso.

Figura 3.6 – Acumulação de sais em planície de inundação (a) e (b) e evidências de erosão hídrica (c) na microbacia do rio Socavão em Carira/SE.



Fonte: Acervo do autor (2019).

A ocorrência de processos erosivos na microbacia só não é agravada pela baixa declividade média do terreno, considerando que 78% da sua área é composta por relevo suave e suave ondulado, com declividade variando entre zero (0) e 8%. Entretanto, o relevo torna-se ondulado na porção oeste da microbacia, com declividade entre 8 e 12% recobrimdo cerca de 22% da sua área, conforme dados matriciais disponibilizados pelo projeto TOPODATA (INPE, 2019). Relevos com declividade até 12% favorecem a mecanização, e tendem a apresentar menor susceptibilidade a processos erosivos (SANS; SANTANA, 2002).

As características físicas do solo como a textura e a profundidade efetiva também influenciam à sustentabilidade das atividades agrícolas, ao impactar sobre a condução e o desenvolvimento das culturas (SANS; SANTANA, 2002). Os solos da microbacia do rio Socavão apresentam predominantemente textura média a argilosa (IBGE, 2019c; IBGE, 2019d; JACOMINE *et al.*, 1975) que favorecem a retenção de água e nutrientes disponíveis no solo (SANS; SANTANA, 2002). Contudo, os principais solos da microbacia apresentam limitações físicas, como ocorre com os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abrupcos e plintossólicos que ocupam 79% da microbacia do rio Socavão. A presença de caráter abrupto e plintossólico dificulta a infiltração de água no solo, além de torná-lo mais suscetível à erosão. A menor velocidade de infiltração da água no horizonte B textural²² em relação ao horizonte superficial ocasiona o acúmulo de água na superfície e seu escoamento sobre o terreno, especialmente, em áreas mais declivosas, originando processos erosivos (PORTELA *et al.*, 2014). Além disso, quando secos são demasiadamente coesos pela presença de plintita²³ que restringe a profundidade efetiva do solo (JACOMINE *et al.*, 1975). Entretanto, a presença de maior umidade no solo durante o ciclo da cultura atenua esta limitação física, permitindo que sejam utilizados com culturas anuais (STRECK *et al.*, 2002; MARQUES *et al.*, 2014).

Maior potencialidade agrícola possuem os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos típicos, que ocupam 21% da microbacia (IBGE, 2019c), sobretudo a porção oeste da microbacia, que apresenta relevo ondulado (INPE, 2019). Estes solos apresentam maior profundidade efetiva e boa capacidade de retenção de água e nutrientes, sendo indicados para cultivos agrícolas (JACOMINE *et al.*, 1975).

²² Horizonte B textural (Bt) é um horizonte subsuperficial caracterizado pelo maior incremento de argila em relação ao horizonte A ou E (SILVA *et al.*, 2013).

²³ São concentrações ferruginosas com diâmetro superior a 2 mm, apresenta coloração vermelha ou vermelha-amarela, de consistência firme quando úmida e dura ou muito dura quando seca (STRECK *et al.*, 2002).

Associados aos Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos típicos ou abrupticos e plintossólicos ocorrem Luvisolos Crômicos Pálcos, que também apresentam caráter abruptico e plintossólico (IBGE, 2019c). A presença de argila expansiva nos Luvisolos proporciona plasticidade, além de torná-los pegajosos quando úmido e muito coesos quando secos, reduzindo a permeabilidade do solo e o aprofundamento do sistema radicular (LEPSCH, 2010; MARQUES *et al.*, 2014). O manejo mecanizado deste solo requer atenção devido à presença de argilomineral de atividade alta (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017). Além disso, apresenta limitações de uso devido sua alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade superficial comum e pequena profundidade efetiva (MARQUES *et al.*, 2014).

Os Neossolos Litólicos Eutróficos também ocorrem com frequência na região (IBGE, 2019c). Por serem solos rasos e pedregosos possuem menor capacidade de armazenamento de água, restringindo o desenvolvimento em profundidade das raízes pelo contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Além disso, estão sujeitos a um desgaste mais rápido devido à pouca espessura do perfil (SANS; SANTANA, 2002; SANTOS *et al.*, 2013). Estes solos podem ser cultivados em terrenos com declividade inferior a 15%, porém, através de práticas intensivas de conservação, com mínima mobilização do solo (STRECK *et al.*, 2002).

Os solos da microbacia do rio Socavão são jovens, pouco intemperizados e apresentam reserva elevada de nutrientes herdados de rochas ígneas claras e metamórficas (micaxistos, granitoides e quartzitos), o que confere caráter eutrófico²⁴ aos solos da região (SANTOS *et al.*, 1998; JACOMINE *et al.*, 1975). Entretanto, os resultados das análises de fertilidade química revelam que apenas duas amostras compostas apresentaram caráter eutrófico. O valor médio do índice de saturação por bases foi de 37,7%. Valores baixos a médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} respectivamente, 1,79 e 0,52 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ podem ser os responsáveis pelo caráter distrófico encontrado em cinco dos sete solos amostrados.

A extração de nutrientes pelo cultivo recorrente do milho pode provocar uma redução do índice de saturação por bases, considerando que o cálcio e magnésio são extraídos através dos grãos e pela parte vegetativa da planta, que contém parcela substancial do cálcio absorvido pelas plantas (SOBRAL, 2016). Estima-se extrações médias de 17 kg/ha^{-1} de cálcio e magnésio no cultivo de milho destinado à produção de grãos com produtividade média de 5.800 kg/ha^{-1} ,

²⁴ Solos que apresentam índice de saturação por bases (V%) igual ou superior a 50%. O índice expressa a proporção de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) trocáveis em relação à capacidade de troca (CTC). Solos com V% abaixo de 50% são considerados distróficos (STRECK *et al.*, 2002).

enquanto que na produção de silagem é estimada a perda de 41 kg/ha⁻¹ de cálcio e 28 kg/ha⁻¹ de magnésio para uma produtividade de 15,31 t/ha⁻¹ (COELHO; FRANÇA, 1995).

A incorporação dos restos culturais devolve grande parcela de nutrientes ao solo contidos na palhada, sobretudo de cálcio (COELHO, 2006). Todavia, quando o milho é colhido para silagem ou quando os restos culturais são destinados ao pastejo de ruminantes, prática comum na microbacia do rio Socavão, a ciclagem de nutrientes é impedida ocorrendo alta extração e exportação de nutrientes, sem contribuição de aumento ou mesmo, manutenção da matéria orgânica.

Os solos amostrados apresentaram elevados teores de K⁺, em média 135 mg.dm⁻³, o que indica a presença de minerais primários e solos mais jovens, que sofreram menor intemperismo (SOBRAL *et al.*, 2015). O teor médio de P disponível também é elevado, próximo a 12,0 mg.dm⁻³, estando associado a aplicação de adubos fosfatados, que promovem a formação e o crescimento do sistema radicular das plantas (LEITE; GOMES, 2012; SOBRAL *et al.*, 2015).

Os solos também apresentaram baixa acidez trocável e potencial, reduzido índice de saturação de Alumínio e valores de CTC a pH 7,0 variando entre 6,33 e 9,69 cmol_c.dm⁻³, considerados medianos por Sobral *et al.* (2015). Contudo, o pH variou entre 4,2 a 5,5, com média de 4,9, o que indica uma leve acidificação dos solos, derivada possivelmente de adubação nitrogenada ou perda de solo superficial (LOPES, 1998).

O teor de matéria orgânica oscilou entre 1,50 e 2,53 dag/kg⁻¹, valor considerado mediano por Sobral *et al.* (2015). O preparo convencional do solo e o aproveitamento dos resíduos culturais para ração animal podem interferir no teor de matéria orgânica no solo, por proporcionarem maior exposição do solo à radiação solar, acelerando o processo de oxidação da matéria orgânica, sobretudo em climas quentes (SILVA *et al.*, 2011; POSSENTI *et al.*, 2007; LEPSCH, 2010).

A degradação dos solos no semiárido nordestino não se manifesta apenas pela sensibilidade natural do ambiente, mas pelo uso a ele imposto, sobretudo, por práticas agrícolas inadequadas (SÁ *et al.*, 2010). Logo, a região carece de um sistema de cultivo alternativo que propicie a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo, protegendo sua estrutura do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial das enxurradas. Além de elevar a capacidade de infiltração de água, reduzir as taxas de evaporação, atenuar a pressão exercida no solo pela mecanização agrícola, bem como propiciar a ciclagem de nutrientes (CRUZ *et al.*, 2001). Neste

contexto, surge a semeadura direta (plantio direto), que apresenta vantagens importantes em relação ao preparo convencional por elevar a umidade e a proteção do solo, além de maximizar a janela climática de semeadura, que é muito estreita no semiárido (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017). Entretanto, a semeadura direta em um solo estruturalmente degradado e com baixo teor de matéria orgânica, pode ocasionar a compactação do solo a níveis prejudiciais às plantas em decorrência da acomodação natural das partículas desestruturadas e ao tráfego recorrente de máquinas pesadas (STONE; DA SILVEIRA; MOREIRA, 2006). Além disso, as peculiaridades edafoclimáticas do semiárido restringem a formação de cobertura protetora do solo (morta ou viva) na maior parte do ano, ao propiciar a obtenção de uma única safra anual, aliado a baixa produção de fitomassa (BARROS; PACHECO; CARVALHO, 2017).

A destinação dos resíduos culturais à alimentação animal (SANTOS, 2012), prática comum na microbacia do rio Socavão, expõe ainda mais o solo à radiação solar, acelerando a oxidação da matéria orgânica, além de torná-lo mais suscetível a ação de agentes erosivos (vento e chuvas). Esta prática de manejo favorece a perda de solos férteis e o assoreamento de rios e mananciais (LEPSCH, 2010). Portanto, devem ser avaliadas fontes alternativas à nutrição dos rebanhos, considerando a importância da ciclagem dos nutrientes para a manutenção da qualidade do solo. Há estudos que apontam como alternativa para elevação da produção de fitomassa no semiárido, o consórcio do milho com gramíneas forrageiras (SILVA *et al.*, 2008; PONTE FILHO, 2018) e o plantio de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) (PERAZZO *et al.*, 2013), considerando que o sorgo apresenta maior eficiência no uso da água em relação ao milho, conseguindo produzir 1 kg de matéria seca utilizando entre 150 e 300 litros de água, enquanto o milho necessita no mínimo de 450 litros. Além disso, é possível produzir forragem de sorgo com precipitação de 300 mm durante o ciclo da cultura, enquanto a forragem de milho exige 600 mm (SILVA; REGINATO NETO, 2019).

3.4 Conclusões

A exploração da cultura do milho na microbacia do rio Socavão em Carira, tem se mostrado vulnerável a fatores climáticos desfavoráveis, considerando a forte correlação entre a precipitação anual e as variáveis: produtividade, área colhida e quantidade produzida de grãos. Porém, a distribuição irregular das chuvas também influencia na produção da cultura do milho.

O clima do semiárido sergipano induziu a formação de solos jovens, caracterizados pela pouca espessura e profundidade efetiva reduzida, presença de afloramentos rochosos, além de

horizontes subsuperficiais pouco desenvolvidos, com a presença frequente de argilominerais 2:1 e plintita logo abaixo de um horizonte relativamente delgado, com maior macroporosidade. Estas características naturais tornam estes solos naturalmente susceptíveis a erosão hídrica quando submetidos a chuvas concentradas em um curto espaço de tempo, o que é típico do semiárido. Entretanto, esta situação natural tem sido agravada pelo plantio em desnível e o preparo convencional do solo com grade aradora, que tem propiciado a formação de uma camada subsuperficial compactada, sobretudo entre 15 e 25 cm de profundidade. A formação desta camada impacta na capacidade do solo em armazenar água, inibe o aprofundamento do sistema radicular das plantas, além de acentuar a ocorrência de erosão hídrica, elevando o risco de salinização das planícies de inundação pela acumulação de sais. Assim, a compactação do solo tende a elevar a vulnerabilidade da cultura do milho ao clima da região, caracterizado por apresentar irregularidade espacial e temporal na distribuição das chuvas, além de apresentar altas taxas de evapotranspiração e temperaturas elevadas.

O aproveitamento da fitomassa residual da cultura para ração animal eleva a perda de solo por processos erosivos e aumenta sua exposição à radiação solar, acelerando a decomposição da matéria orgânica do solo, impactando sobre estrutura e a porosidade do solo. Além de limitar a ciclagem de nutrientes, o que exige a aplicação de maiores concentrações de insumos externos aos agroecossistemas

A precipitação, as características físicas naturais dos solos e o uso de práticas não conservacionistas de manejo do solo constituem-se em fatores edafoclimáticos restritivos à exploração e a sustentabilidade da monocultura do milho na microbacia do rio Socavão, à medida que interferem na produtividade e na estabilidade produtiva do agroecossistema, além de contribuírem para a degradação da qualidade do solo.

Em contrapartida, o relevo e a fertilidade natural dos solos favorecem a exploração da atividade e contribuem para maiores índices de sustentabilidade. A predominância de relevo plano a suavemente ondulado beneficia a mecanização agrícola e reduz a velocidade de escoamento das águas superficiais e, conseqüentemente, a intensidade da erosão hídrica, enquanto os atributos químicos do solo não oferecem impedimento à produção agrícola, desde que sejam realizadas adubações químicas para a produção de milho com alto rendimento.

A vulnerabilidade edafoclimática do cultivo do milho no semiárido tende a reduzir-se com a difusão da semeadura direta (plantio direto), contudo, o sucesso desta prática exige a formação de cobertura morta no solo. A manutenção contínua dos restos culturais sobre a superfície do solo após a colheita, pode se constituir em alternativa para formação de cobertura

morta. Esta cobertura protegerá o solo contra a ação de forças erosivas e da intensa radiação solar, além disso permitirá a ciclagem de nutrientes. O cultivo de culturas antecedentes também pode ser utilizado para formação da cobertura protetora, porém esta prática é dependente de maiores índices pluviométricos e uma distribuição mais regular das chuvas durante os meses antecedentes ao cultivo do milho.

Desta forma, quando se associa o comportamento médio da precipitação (extremamente variável temporalmente e espacialmente), com as características físicas (presença de pé-de-grade identificado tanto por Ds e RMP) e químicas (solos relativamente férteis, porém com baixa matéria orgânica e cobertura superficial) mostram ao mesmo tempo, um cenário relativamente favorável a produtividade do milho, porém com alto nível de susceptibilidade a perdas de solo e períodos de deficiência hídrica à cultura do milho, que ocasionam perdas significativas de produção. Isto se agrava quando se utilizam variedades não selecionadas e adaptadas as condições típicas do semiárido sergipano, evidenciando-se aí o grau crítico das produções desta cultura, marcadamente em períodos de ocorrência de deficiência hídrica, o que nesta ocasião, evidencia maiores limitações dos demais fatores edáficos limitantes.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANA. **HidroWeb**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de. Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. **Journal of Environmental Accounting and Management**, 5, p. 211-232, 2017.

BELUCIO, L. P.; SILVA, A. P. N. da; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. de A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista**. Comunicado Técnico n. 51, Embrapa. Rio de Janeiro, 2008. 6 p.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Circular técnica n. 78, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2006.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2 ed. Arquivo do Agrônomo n. 2. Piracicaba: Potafos, 1995.

COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável II: Avaliação. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n.2. p. 75-89, 2010.

CRUZ, J. C. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 13-24, Belo Horizonte, 2001.

CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A. de; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; GALINA, M. H. Estimativa da precipitação anual média e avaliação de sua influência na produção de milho no polo produtivo de Sergipe. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 7, 2014, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2014. p. 327-341.

CUNHA, J. S. **O agronegócio do milho transgênico no oeste sergipano**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2015. 175 p.

DAKER, A. **A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola**. 4.ed. v. 3 Irrigação e drenagem. Rio de Janeiro: Ed. Freitas Bastos, 1973. 453 p.

DIAS, R. S.; SILVA, D. F. da. Relação entre variabilidade pluviométrica, indicadores socioeconômicos e produção agrícola no Cariri/Centro Sul cearense. **Ambiência**, n. 11, 345-358, 2015.

DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm. Acesso em: 27/1/2020.

EMBRAPA. **Mapa exploratório de reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolos__sergipe_wgs84. Acesso em: 10 dez. 2019.

EMBRAPA. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação-SATVeg**. Campinas, 2014. Disponível em <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.

EMBRAPA. **Trimestres mais e menos chuvosos no estado de Sergipe**. Campina Grande, 2016. Disponível em <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/402/download>. Acesso em: 10 dez. 2019.

EMDAGRO. **Estatística Agropecuária**, Pluviosidade. Disponível em https://www.emdagro.se.gov.br/?page_id=1111. Acesso em: 15 dez. 2019.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba, Agropecuária, 2000. 360 p.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. Oficina de Textos, 2017. 284 p.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 26 dez. 2019a.

IBGE. **Clima**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 5 dez. 2019b.

IBGE. **Mapa de Solos**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/. Acesso em: 10 dez. 2019c.

IBGE. **Pedologia**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>. Acesso em: 11 dez. 2019d.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=tzo=11%i=p>. Acesso em: 11 dez. 2019e.

IBGE. **Vegetação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 15 dez. 2019f.

INMET. **Estações automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 10 nov. 2019.

INMET. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária: Balanço Hídrico Sequencial**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>. Acesso em: 09 jan. 2020.

INPE. **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, Boletim técnico, v. 36, Embrapa/Sudene, 1975. 505 p.

LEITE, M. J. de H.; GOMES, A. D. V. Cultivo do sorgo forrageiro *Sorghum bicolor* (L.) Moench (S. vulgare Pers.) no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, 2012.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2 ed., São Paulo, Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177 p.

LUZ, L. R. Q. P. da; PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de; ANJOS, J. L. dos; MELO, P. de O. Topossequência de solos cultivada com milho no estado de Sergipe. *In: Reunião Brasileira de manejo e conservação do solo e da água*, 19, 2012, Lages. **Anais...** Lages: SBCS; UDESC; Epagri; Instituto Federal Santa Catarina, 2012.

MACEDO, M.; RUDORFF, B. Geotecnologias no seguro agrícola do milho safrinha. **Agricultura São Paulo**, v. 50, p. 43-52, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa milho e Sorgo, 2006.

MAPA. **Portaria nº. 315, de 5 de novembro de 2019**. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho no Estado de Sergipe, ano-safra 2018/2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/portarias/safra-vigente/sergipe/word/PORTN315MILHO1SAFRASE.ret.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2019.

MAPBIOMAS, Projeto. **Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit. Acesso em: 5 dez. 2019

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In: MEDEIROS S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. (ed) Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 384-422, 2011.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. **Solos do Nordeste**. 1ª. ed. Recife: EMBRAPA, 2014. 8 p.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P. da; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 315-321, 2011.

MÜLLER, S. **Como medir la Sostenibilidad? Una propuesta para el area de la agricultura y de los recursos naturales**. Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales, n. 1. IICA/BMZ/GTZ, Agroamerica, Costa Rica, 1996. 55 p.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; AMORIM, J. R. de A.; GALINA, M. H.; CRUZ, M. A. S.; SOUZA, L. A. de. Transferência de Tecnologias para Conservação do Solo na principal região produtora de milho em Sergipe. *In: Anais.... Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 35, Natal, 2015.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; AMORIM, J. R. A. de; DOMPIERI, Marcia Helena Galina. **Terraceamento: conservação do solo e da água no polo de produção de milho, em Sergipe**. Comunicado Técnico 199. Embrapa. Sergipe, 2016. 10 p.

OLIVEIRA, E. R. S. dos S. **Expansão da produção do milho no estado de Sergipe e sua interface com a agricultura familiar**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019. 135 p.

OLIVEIRA, N. L. de. **da agricultura e alterações socioambientais no município de Carira/SE sob a lógica de reprodução ampliada do capital**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2010. 220 p.

OLIVEIRA, O. S. **Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de milho em Sergipe a partir de indicadores biológicos da qualidade do solo**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

PACHECO, E. P.; BARROS, I. de; BARRETO, A. C.; FERNADNES, M. F. Solos. *In*: PACHECO, C. A. P., de CARVALHO, H. W. L., CARDOSO, M. J, da ROCHA, L. M. P. **Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos**. Embrapa, Brasília, 2016.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. do N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. de F.; AQUINO, M. M. de; SILVA, T. C. da; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PONTE FILHO, F. A. M. da. **Adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem de culturas anuais e consórcio de gramíneas com milho em condições de semiárido**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2018. 114 p.

PORTELA, J. C.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de; ANJOS, J. L. dos; MELO, P. de O. Atributos físico-hídricos e químicos de solos sob cultivo de milho na região agreste de Sergipe. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 51-58, 2014.

POSSENTI, J. C.; TOZETTO, F. C.; BETTIATO, G.; SZEPANHUK, V. A agricultura convencional e suas implicações para o meio ambiente. *In*: Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária, 1, **Anais...**, Dois Vizinhos: Master gráfica e editora Ltda., p. 126-128. 2007.

PRATA, D. A. T. **Determinantes da expansão da produção de milho em Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2013. 100 p.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.4, p.381–384, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 49-134, 2007.

ROSA, D. P. da. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. 122 p.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. **Processos de desertificação no Semiárido brasileiro**. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (ed.). *Semiárido Brasileiro: Pesquisa Desenvolvimento e Inovação*. Petrolina: Embrapa, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do Milho: Clima e Solo**. Comunicado Técnico n. 38. EMBRAPA, Sete lagoas, 2002.

SANTANA, A. P. S. de. **Aspectos da sustentabilidade nas explorações do milho em assentamentos rurais no centro oeste de Sergipe**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

SANTOS, C. dos. **Níveis Tecnológicos dos Agroecossistemas do Milho no Estado de Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012. 145 p.

SANTOS, C. dos; PEDROTTI, A.; RAMOS, O. F.; RODRIGUES, S. A. S. R. Aspectos da sustentabilidade no cultivo do milho no estado de Sergipe. In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, 21, 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU/LAGEA, 2012.

SANTOS, F. F. **O fetiche da tecnologia no espaço agrário: o caso dos assentamentos rurais Jacaré Curitiba e Edmilson Oliveira em Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, M. J.; ARAUJO, L. E.; OLIVEIRA, E. M.; SILVA, B. B. Seca, precipitação e captação de água de chuva no semiárido de Sergipe. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 1, 2009.

SANTOS, R. A. dos; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P. das; LEAL, R. A. (Orgs.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe**. Brasília: CPRM, 1998. 156 p.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1999.

SANTOS, W. M. dos; SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S. de; ALMEIDA, A. Q. de; ANTONINO, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 368-376, 2017.

SCHEUER, J. M.; NEVES, S. M. A. S. N; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, R. J. Sustentabilidade dos agricultores familiares da associação dos pequenos produtores da região do Alto Sant'ana de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 122-141, set. 2018. Disponível em: <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1467>. Acesso em: 29 fev. 2020.

SERAFIM, M. E.; VITORINO A. C. T.; PEIXOTO, P. P. P.; SOUZA, C. M. A.; CARVALHO, D. F. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.4, p.654-665, 2008.

SERGIPE. **Relatório Executivo da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe**. In: Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Japaratuba, Piauí e Sergipe. Aracaju: SEMARH, 2015.

SILVA, A. F.; REGITANO NETO, A. As principais culturas anuais e bianuais na agricultura familiar. In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI, T. V. (Ed.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Brasília, DF, Embrapa, 2019. cap. 2, p. 45-83.

SILVA, D. S. da; MOURA, F. R. de; SILVA, M. A. S. da; SILVA, A. A. G. da S. Avaliação do efeito espacial na produção do milho no sertão sergipano. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20677-20701, 2019a.

SILVA, D. S. da; SILVA, M. A. da; CARVALHO, H. W. L. de; DOMPIERI, M. H. G.; CUENCA, M. A. G. Análise da dinâmica e dependência espaciais da produção de milho no território rural “Sertão Ocidental” sergipano. **Scientia Plena**, v. 1, n. 8, 2019b.

SILVA, E. T. da; CUNHA, J. L. X. L.; MADALENA, J. A.; DA SILVA, J. A. C.; SILVA, W. T. da. Produção de milho (*Zea mays* L.) em consórcios com gramíneas forrageiras. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 4, p. 29-34, 2008.

SILVA, G.; SILVA, D. Fonseca da. Análise da influência climática sobre a produção agrícola no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 643-657, 2016.

SILVA, G. D. da; PACHECO, E. P. Importância da distribuição de chuvas para o cultivo de milho no agreste sergipano. In: Encontro de Recurso Hídrico em Sergipe, 7, 2014. **Anais...SEMARH**, Aracaju, 2014.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P.; Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias**, Coleção Ciências Ambientais.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Silva38/publication/268417421_Os_indicadores_fisicos_quimicos_e_biologicos_da_qualidade_do_solo_e_da_sustentabilidade_dos_ambientes_naturais/links/564bcfd808ae020ae9f84f91.pdf. Acesso em: 11 nov. 2019.

SILVA, S. B. dos S. **Agronegócio e os impactos socioambientais do uso de agrotóxicos na vida de trabalhadores do campo em áreas de produção de milho no município de Carira, SE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015. 204 p.

SILVEIRA, D. de C.; MELO FILHO, J. F. de; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SOBRAL, L. F. Adubação e calagem. In: PACHECO, C. A. P., de CARVALHO, H. W. L., CARDOSO, M. J, da ROCHA, L. M. P. **Sistema de produção de milho para a Zona da Mata e Agreste nordestinos**. Embrapa, Brasília, 2016.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

SOUSA, I. F. de; NETA, A. P. B; CAMPOS, C. R. S; SILVA, E. O.; COSTA, O. A. da. Análise da distribuição da frequência mensal de precipitação do município de Carira, Sergipe. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Documentos, n. 191, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 39 p.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHENEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS; UFRGS, 2002. 126 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

VALERIANO, M. de M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1-8.

VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. de F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. Comunicado Técnico n.51. São Carlos: Embrapa, 2002. 5 p.

4 CONCLUSÃO GERAL

Em sua essência, a monocultura intensiva do milho em regime sequeiro no município de Carira/SE, tende naturalmente a apresentar baixos índices de sustentabilidade, em razão do cultivo de sementes geneticamente modificadas e pelo uso maciço de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos exógenos aos agroecossistemas. Estes insumos são necessários para a produção de milho com alto rendimento e, geralmente requerem alto custo energético para sua produção, como é o caso dos adubos nitrogenados, ou são finitos na natureza, como os adubos fosfatados.

O uso de práticas agrícolas inadequadas, como o plantio morro abaixo, o revolvimento excessivo do solo e o baixo aporte de matéria orgânica reduzem ainda mais a sustentabilidade da atividade na microbacia do rio Socavão. Esta situação é agravada pelo uso de grades aradoras, que formam camadas subsuperficiais compactadas (pé-de-grade), elevando a susceptibilidade natural dos solos a erosão. As perdas de solo só não são maiores na microbacia do rio Socavão devido a predominância de relevo plano a suavemente ondulado, com declives médios inferiores a 12%.

O uso de práticas inadequadas pós-colheita, como o pastejo intensivo e a exportação dos resíduos culturais para ração animal, também elevam a degradação dos solos e a perda de nutrientes. Entretanto, a presença de solos relativamente férteis tende a temporizar os efeitos deletérios na qualidade química dos solos.

O uso de produtos químicos (fertilizantes e defensivos agrícolas) sem acompanhamento técnico tem contribuído para a contaminação dos recursos hídricos da região. Ademais, a expansão da monocultura do milho tem ocasionado a homogeneização da paisagem, degradação de habitats naturais e a perda de biodiversidade.

Assim, a exploração da monocultura do milho na microbacia do rio Socavão apresenta desempenho ambiental insatisfatório, sendo requeridas ações mitigatórias para que os índices de sustentabilidade da atividade sejam elevados. A continuidade da monocultura do milho com veem sendo desenvolvida na microbacia do rio Socavão, sem as devidas correções, acentuará os impactos ambientais da atividade, reduzindo ainda mais os níveis de sustentabilidade dos estabelecimentos rurais envolvidos com a sua produção.

Apesar dos impactos ambientais associados a monocultura do milho, é inegável a importância econômica da atividade para o município de Carira/SE, em especial para a

microbacia do rio Socavão. Porém, o desempenho econômico da cultura tem apresentado comportamento volúvel, à medida que a monocultura do milho tem se mostrado vulnerável as condições edafoclimáticas da região, pela baixa plasticidade adaptativa das cultivares a um regime hídrico irregular, caracterizado por períodos de déficit hídrico e com elevada variabilidade espaço temporal das chuvas. Isto tem motivado oscilações na produtividade e na renda gerada pela exploração da cultura do milho, considerando a alternância entre safras altamente produtivas, com safras de baixo rendimento, tendo a precipitação pluviométrica como fator preponderante para produtividade da cultura, especialmente nas fases de floração e enchimento de grãos.

Evidenciou-se também na microbacia do rio Socavão, baixa diversidade produtiva, fragilidade dos pequenos produtores na comercialização e armazenamento da produção, informalidade dos vínculos trabalhistas, gestão ineficiente de resíduos químicos, carência de ações de extensão rural e assistência técnica, sendo que estes fatores são limitantes para a sustentabilidade da exploração da cultura do milho. Diante deste cenário, a sustentabilidade da exploração da cultura do milho vem sendo restringida na microbacia do rio Socavão pela interação de aspectos ambientais, sociais e econômicos, sendo necessárias medidas corretivas para a elevação da sustentabilidade.

A recomposição das matas ciliares e a formação de corredores ecológicos constituem-se em ações mitigatórias para restabelecer a diversidade biológica dos ecossistemas naturais, bem como a difusão de práticas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio em nível e a semeadura direta. Estas práticas tendem a elevar a resiliência dos agroecossistemas, além de reduzir os impactos ambientais da monocultura intensiva do milho, tornando a atividade mais sustentável.

Além disso, torna-se necessário o microzoneamento das áreas realmente aptas para o cultivo do milho, levando-se em consideração as características físicas do solo e a condição de relevo, bem como o desenvolvimento de cultivares adaptadas ao clima da região, com estabilidade produtiva comprovada. Necessita-se também de uma assistência técnica mais atuante que possa otimizar os recursos investidos na cultura, além de ações de capacitação para o aprimoramento da gestão e administração rural. A adoção destas medidas certamente contribuiria para a elevação do nível de sustentabilidade da monocultura do milho na microbacia do rio Socavão, em Carira, reaproximando o homem da natureza, a fim de garantir que os recursos naturais sejam conservados para as próximas gerações.

É salutar aprofundar os estudos sobre a distribuição da renda provinda da exploração da cultura do milho no âmbito da comunidade local, bem como os aspectos potenciais e limitantes a criação de uma cooperativa agrícola na região, como instrumento de superação do isolamento dos produtores, especialmente dos agricultores familiares. Assim como a relação do crédito rural e da seguridade agrícola frente as frequentes quebras de safra de milho no semiárido de Sergipe, uma vez que o acesso ao crédito agrícola pode constituir-se em fator preponderante à exclusão dos agricultores familiares da produção de milho em regime de monocultura. Do ponto de vista ambiental é importante o monitoramento contínuo dos impactos ambientais provocados pela atividade sobre o solo, recursos hídricos e biodiversidade.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE PESQUISA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
 DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



Questionário para pesquisa de campo com os produtores de milho em Carira-SE.

Mestrando: Daniel Brondani Ilha - PRODEMA/UFS

Orientador: Prof. Dr. Alceu Pedrotti – Departamento de Engenharia Agrônômica- DEA/UFS

Dados de identificação

Identificador (ID): _____

1) Condição legal das terras?

- () Própria
 () Arrendada
 () Outros, especificar: _____

2) A renda obtida com atividades desenvolvidas no estabelecimento é maior que outras rendas obtidas pelo produtor?

- () Não
 () Sim

3) Reside no estabelecimento rural?

- () Não
 () Sim

4) Área total do imóvel rural (ha)?

5) A quanto tempo produz milho na propriedade?

6) Objetivo principal da produção do milho?

- () Grãos
 () Silagem

7) Além do milho produz comercialmente outra(s) cultura(s)? Caso afirmativo, especificar a área cultivada.

8) Qual o tamanho da área cultivada com milho em 2019?

9) Em que período foi realizado o plantio do milho?

10) Qual tipo de semente é utilizado no plantio de milho?

- () Híbrido convencional, especificar: _____
 () Transgênica, especificar: _____
 () Crioula

11) Faz análise de solo?

- () Não
 () Sim, especificar periodicidade: _____

12) Faz aplicação de calcário ou de outros corretivos de acidez do solo?

- () Não
 () Sim, especificar ano da última aplicação: _____

13) Faz adubação?

- ☐ Não
☐ Sim, adubação orgânica
☐ Sim, adubação química: ☐ plantio ☐ cobertura

14) Que medidas adota para o controle de pragas ou doenças vegetais?

- ☐ Uso de defensivos agrícolas
☐ Área de refúgio
☐ Controle biológico
☐ Nenhuma

15) Qual o tipo de preparo do solo é utilizado?

- ☐ Cultivo convencional (aração mais gradagem) ou gradagem profunda
☐ Cultivo mínimo (só gradagem leve)
☐ Semeadura direta

16) Há quanto tempo prepara o solo desta forma?

17) Quais destas práticas agrícolas são utilizadas no estabelecimento?

- ☐ Plantio em nível
☐ Rotação de culturas
☐ Pousio ou descanso de solos
☐ Outras, especificar: _____
☐ Nenhuma

18) Como é realizado o plantio e a colheita?

- ☐ Manual
☐ Mecanizado
☐ Semi-mecanizado

19) Qual a origem das máquinas e implementos agrícolas utilizados na exploração da cultura do milho?

- ☐ Alugado com recurso próprio
☐ Alugado com recurso do governo
☐ Próprio, especificar se quitado: ☐ Sim ☐ Não

20) Como é feita a comercialização do milho em grãos?

- ☐ Atravessador
☐ Direta ao consumidor
☐ Contrato com indústria
☐ Não comercializa

21) Qual a origem da mão de obra empregada predominantemente no estabelecimento?

- ☐ Contratada
☐ Familiar

22) O estabelecimento recebe orientação e assistência técnica especializada em agropecuária?

- ☐ Não
☐ Sim, especifique: Contratação própria (); Governamental (); Empresa fornecedora de insumos (); Outras _____

23) Existem unidades armazenadores para grãos no estabelecimento?

- ☐ Não
☐ Sim, especifique: ☐ Armazéns convencionais; ☐ Silo bolsa – horizontal; ☐ Armazéns graneleiros; ☐ Silo torre – vertical

24) Qual a origem dos recursos para o custeio da safra?

- ☐ Recurso próprio
☐ Financiamento bancário

25) A safra de milho é segurada?

☐ Não

☐ Sim

26) O seguro foi acionado em safras anteriores?

☐ Não

☐ Sim, especificar a(s) safra(s): _____

27) Como é feito o manejo do solo após a colheita?

☐ Pousio com a decomposição natural dos restos culturais (cobertura morta no solo)

☐ Pastejo animal sobre os restos culturais

☐ Outros _____

28) Cultiva milho em outros estabelecimentos rurais?

☐ Não

☐ Sim, especificar: _____

APÊNDICE B – DIMENSÕES E INDICADORES DO SISTEMA APOIA-NOVORURAL

Dimensões e indicadores de impacto ambiental do sistema APOIA-NovoRural e unidades de medida utilizadas para caracterização em levantamentos de campo e laboratório.

Dimensões e indicadores	Unidades de medida obtidas no campo e laboratório
Dimensão Ecologia da Paisagem	
Fisionomia e conservação dos habitats naturais	Porcentagem da área da propriedade
Diversidade e condições de manejo das áreas de produção	Porcentagem da área da propriedade
Diversidade e condições de manejo das atividades confinadas (agrícolas/não-agrícolas e de confinamento animal)	Porcentagem da renda da propriedade, excluídas atividades não confinadas
Cumprimento com requerimento da reserva legal	Porcentagem da área averbada como reserva legal na propriedade
Cumprimento com requerimento de áreas de preservação permanente	Porcentagem da área da propriedade
Corredores de fauna	Área (ha) e número de fragmentos
Diversidade da paisagem ⁽¹⁾	Índice de Shannon-Wiener (dado)
Diversidade produtiva ⁽¹⁾	Índice de Shannon-Wiener (dado)
Regeneração de áreas degradadas ⁽¹⁾	Porcentagem da área da propriedade
Incidência de focos de doenças endêmicas	Número de criadouros
Risco de extinção de espécies ameaçadas	Número de (sub)populações ameaçadas
Risco de incêndio	Porcentagem da área atingida pelo risco
Risco geotécnico	Número de áreas influenciadas
Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais	
Atmosfera	
Partículas em suspensão/fumaça	Porcentagem do tempo de ocorrência
Odores	Porcentagem do tempo de ocorrência
Ruídos	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxidos de carbono	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxidos de enxofre	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxidos de nitrogênio	Porcentagem do tempo de ocorrência
Hidrocarbonetos	Porcentagem do tempo de ocorrência
Água superficial	
Oxigênio dissolvido ⁽¹⁾	Porcentagem de saturação de O ₂
Coliformes fecais ⁽¹⁾	Número de colônias/100 mL
DBO ₅ ⁽¹⁾	Miligramas/L de O ₂
pH ⁽¹⁾	pH
Nitrato ⁽¹⁾	Miligramas de NO ₃ /L
Fosfato ⁽¹⁾	Miligramas P ₂ O ₅ /L
Sólidos totais ⁽¹⁾	Miligramas sólidos totais/L
Clorofila a ⁽¹⁾	Micrograma clorofila/L
Condutividade ⁽¹⁾	Micro ohm/cm
Poluição visual da água	Porcentagem do tempo de ocorrência
Impacto potencial de pesticidas	Porcentagem da área tratada
Água subterrânea	
Coliformes fecais ⁽¹⁾	Número de colônias/100 mL
Nitrato ⁽¹⁾	Miligramas de NO ₃ /L
Condutividade ⁽¹⁾	Micro ohm/cm
Manutenção da capacidade produtiva do solo	
Matéria orgânica	Porcentagem de matéria orgânica
pH ⁽¹⁾	pH
P resina ⁽¹⁾	Miligramas P/dm ³
K trocável ⁽¹⁾	Milimol de carga/dm ³
Mg (e Ca) trocável ⁽¹⁾	Milimol de carga/dm ³
Acidez potencial (H + Al) ⁽¹⁾	Milimol de carga/dm ³
Soma de bases ⁽¹⁾	Milimol de carga/dm ³
Capacidade de troca catiônica ⁽¹⁾	Milimol de carga/dm ³
Volume de bases ⁽¹⁾	Porcentagem de saturação
Potencial de erosão	Porcentagem da área
Dimensão Valores Socioculturais	
Acesso à educação ⁽¹⁾	Número de pessoas
Acesso a serviços básicos	Acesso a serviços básicos (1 ou 0)
Padrão de consumo	Acesso a bens de consumo (1 ou 0)
Acesso a esporte e lazer	Horas dedicadas
Conservação do patrimônio histórico, artístico, arqueológico e espeleológico	Número de monumentos/eventos do patrimônio
Qualidade do emprego	Porcentagem dos trabalhadores
Segurança e saúde ocupacional	Número de pessoas expostas
Oportunidade de emprego local qualificado	Porcentagem do pessoal ocupado
Dimensão Valores Econômicos	
Renda líquida do estabelecimento	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Diversidade de fontes de renda	Proporção da renda domiciliar
Distribuição de renda	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Nível de endividamento corrente	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Valor da propriedade	Proporção da alteração de valor
Qualidade da moradia	Proporção dos residentes
Dimensão Gestão e Administração	
Dedicação e perfil do responsável	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Condição de comercialização	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Reciclagem de resíduos	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Relacionamento institucional	Ocorrência de atributos (1 ou 0)

⁽¹⁾ Indicador expresso em duas medidas: índice de impacto e variação porcentual, proporcional, ou relativa; cada qual com seu respectivo valor de utilidade.

Fonte: Elaborado por RODRIGUES; CAMPANHOLA (2003).

APÊNDICE C – ANÁLISES QUÍMICAS DA ÁGUA



**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 3407/19

Revisão 00

Cliete	Daniel Brondani Ilha	Telefone	
Endereço		Contato(s)	Daniel Brondani Ilha
e-mail	dilhaaracaju@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas MB	Recepção	18/11/19

Amostra	Reservatório P.A Edmilson - Carira-SE			Código	3407/19-01	Coleta em	18/11/19 08:30
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Coliformes Totais	1,3 X 10 ³	NMP/100mL	--	SMEWW 9221A		18/11/19	
Coliformes Termotolerantes	7,9 X 10 ²	NMP/100mL	--	SMEWW, 2017, 9221B		18/11/19	

Legenda

NMP: Número Mais Provável.

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 22 de novembro de 2019.

Fabio Rocha Menezes
Biomédico

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTCPW CHZ 317.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 1/1



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 3468/19

Revisão 00

Cliente	Daniel Brondani Ilha	Telefone	
Endereço		Contato(s)	Daniel Brondani Ilha
e-mail	dilhaaracaju@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Aguas - AD	Recepção	15/08/19

Amostra	RIACHO SOCAVÃO - P.A Edmilson Oliveira			Código	3468/19-02	Coleta em	14/08/19 08:32
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
pH	7,87	--	1 - 12	SMEWW, 2017, 4500 H+ B		15/08/19 08:25	
Nitrogênio - Nitrato	3,06	mg N-NO ₃ /L	0,026	SMEWW, 2017, 4500-NO ₃ C		19/08/19	
Fosfato Reativo Solúvel (fósforo reativo dissolvido)	0,02	mg P-PO ₄ /L	0,01	SMEWW, 2017, 4500-PO ₄ P, E		20/08/19	
Sólidos Dissolvidos Totais (TDS)	17570	mg/L	0,006	SMEWW, 2017, 2510 A		15/08/19	
Clorofila a	0,98	µg/L	0,01	SMEWW, 2017, 10200 H		20/08/19	
Condutividade Elétrica	31380,0	µS/cm	0,01	SMEWW, 2017, 2510 B		15/08/19	

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
IA	AD	Iodeto Alcalino Azida, Sulfato Manganoso	300mL	Vidro
RD	AD	Refrigeração (DBO / DQO)	1000mL	Frasco Plástico
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 20 de agosto de 2019.

Cláudia de Araújo Xavier
Coordenadora
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTDNZ CMW 448.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 2/3



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 3468/19

Revisão 00

Cliente	Daniel Brondani Ilha	Telefone	
Endereço		Contato(s)	Daniel Brondani Ilha
e-mail	dilhaaracaju@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Aguas - AD	Recepção	15/08/19

Amostra	RIACHO SOCAVÃO - Exutório da microbacia do rio Socavão			Código	3468/19-03	Coleta em	14/08/19 09:25
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
pH	7,96	--	1 - 12	SMEWW, 2017, 4500 H+ B		15/08/19 08:25	
Nitrogênio - Nitrato	3,95	mg N-NO ₃ /L	0,026	SMEWW, 2017, 4500-NO ₃ C		19/08/19	
Sólidos Dissolvidos Totais (TDS)	13080	mg/L	0,006	SMEWW, 2017, 2510 A		15/08/19	
Clorofila a	2,23	µg/L	0,01	SMEWW, 2017, 10200 H		20/08/19	
Condutividade Elétrica	23350,0	µS/cm	0,01	SMEWW, 2017, 2510 B		15/08/19	
Fosfato Reativo Solúvel (fósforo reativo dissolvido)	<0,01	mg P-PO ₄ /L	0,01	SMEWW, 2017, 4500-PO ₄ P, E		20/08/19	

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
IA	AD	Iodeto Alcalino Azida, Sulfato Manganoso	300mL	Vidro
RD	AD	Refrigeração (DBO / DQO)	1000mL	Frasco Plástico
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 20 de agosto de 2019.

Cláudia de Araujo Xavier
Coordenadora
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTDNZ CMW 448.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 3/3



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 4757/19

Revisão 00

Cliente	Daniel Brondani Ilha	Telefone	
Endereço		Contato(s)	Daniel Brondani Ilha
e-mail	dilhaaracaju@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Aguas - AD	Recepção	18/11/19

Amostra	Água de tanque - Carira/SE - PA - Edimilson Oliveira	Código	4757/19-01	Coleta em	18/11/19 08:30
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
pH	7,17	--	1 - 12	SMEWW, 2017, 4500 H+ B	18/11/19 08:00
Nitrogênio - Nitrato	0,751	mg N-NO ₃ /L	0,026	SMEWW, 2017, 4500-NO ₃ C	21/11/19
Fosfato Reativo Solúvel (fósforo reativo dissolvido)	<0,01	mg P-PO ₄ /L	0,01	SMEWW, 2017, 4500-PO ₄ P, E	26/11/19
Sólidos Dissolvidos Totais (TDS)	5916	mg/L	0,006	SMEWW, 2017, 2510 A	19/11/19
Clorofila a	3,86	µg/L	0,01	SMEWW, 2017, 10200 H	22/11/19
Condutividade Elétrica	10565,0	µS/cm	0,01	SMEWW, 2017, 2510 B	19/11/19
DBO (Método respirométrico)	3,2	mg O ₂ /L	0,5	SMEWW, 2017, 5210-D	21/11/19
Oxigênio Dissolvido - OD	6,57	mg O ₂ /L	0,04	SMEWW, 2017, 4500-O C	18/11/19

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
IA	AD	Iodeto Alcalino Azida, Sulfato Manganoso	300mL	Vidro
RD	AD	Refrigeração (DBO / DQO)	1000mL	Frasco Plástico
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 28 de novembro de 2019.

Cláudia de Araújo Xavier
Coordenadora
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTCP3 C.JM 382.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 1/1

APÊNDICE D – ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor: 29,25

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22098	UNIDADE PRODUTIVA: PP1	-	4,2	166,39	16,34	-	1,12	0,24	0,50	7,90
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22098	1,79	2,29	9,69	18,44	21,83	2,53	37,70	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22098	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrator Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

Solo Tipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município: SÃO CRISTOVÃO - SE

Valor: 29,25

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22097	UNIDADE PRODUTIVA: PP2	-	5,3	119,50	15,99	-	2,54	0,48	0,00	3,00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22097	3,33	3,33	6,33	52,55	0,00	1,66	46,00	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22097	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcico em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

SoloTipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor:

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP: 49550-000

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22093	UNIDADE PRODUTIVA: PP3	-	5,5	176,69	2,73	-	2,43	1,00	0,00	3,30
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22093	3,88	3,88	7,18	54,08	0,00	1,90	41,50	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22093	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

SoloTipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor:

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22094	UNIDADE PRODUTIVA: PA1	-	4,9	156,06	9,04	-	1,84	0,76	0,20	4,70
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22094	3,00	3,20	7,70	38,96	6,25	1,88	41,90	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22094	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

SoloTipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor:

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22100	CAATINGA HIPOXERÓFILA (ESTÁGIO SECUNDÁRIO)	-	4,5	105,82	1,78	-	1,15	0,37	0,50	5,50
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22100	1,79	2,29	7,29	24,57	21,83	2,16	39,10	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22100	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

SoloTipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro: ZONA RURAL

Município: CARIRÁ-SE

Valor: 32,50

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP: 49550-000

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm³ -----			----- cmolc/dm³ -----			
22092	MILHO - PÓS COLHEITA	-	4,6	158,79	19,97	-	0,90	0,27	0,50	5,20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm³ -----					
22092	1,58	2,08	6,78	23,26	24,04	1,52	41,10	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22092	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcico em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

Solo Tipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor:

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----			
22095	MILHO CONSORCIADO /PÓS COLHEITA	-	4,6	53,39	5,09	-	1,62	0,41	0,30	4,60
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
22095	2,17	2,47	6,77	32,01	12,15	1,50	46,80	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22095	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrator Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

Solo Tipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206



Universidade Federal de Lavras

Laboratório de Análises de Solo
Departamento de Ciência do Solo



Solicitante:

Cidade:

Endereço:

Telefone:

Bairro:

Município:

Valor:

Entrada: 02/12/2019

Saída: 23/12/2019

CEP:

Resultados Analíticos

Protocolo	Identificação Amostra	pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
				----- mg/dm³ -----			----- cmolc/dm³ -----			
22096	MILHO	-	5,0	111,23	14,75	-	2,06	0,48	0,00	3,50
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm³ -----					
22096	2,83	2,83	6,33	44,63	0,00	2,00	45,80	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Protocolo	Classificação do Solo	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
22096	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

SB= Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

S - Extrator - Fosfato monocalcário em ácido acético

P- Na - K- Fe - Zn- Mn- Cu- Extrador Mehlich 1

H + Al- Extrator: SMP

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V= Índice de Saturação de Bases

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

B- Extrator água quente

Solo Tipo 1: Textura Arenosa

Solo Tipo 2: Textura Média

Solo Tipo 3: Textura Argilosa

Márcio da Silva Marques
Departamento de Ciências do Solo/ UFLA
Químico responsável CRQ: 02102206