



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JOANA CELIA MORAES RODRIGUES

**O NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS APLICADO AO CONTEXTO DA  
AMAZÔNIA PARAENSE**

BELÉM/PA

2017

**JOANA CELIA MORAES RODRIGUES**

**O NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS APLICADO AO CONTEXTO DA  
AMAZÔNIA PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal do Pará, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Organização e Gestão do Território.  
Linha de pesquisa: Dinâmica da Paisagem na Amazônia:  
agentes, processos e conflitos.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Fabian Szlafsztein.

BELÉM/PA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca de Pós-Graduação do IFCH/UFPA

---

Rodrigues, Joana Celia Moraes

O Nexo Água-Energia-Alimentos aplicado ao contexto da  
Amazônia Paraense/ Joana Celia Moraes Rodrigues. - 2017.

Orientador: Cláudio Fabian Szlafsztein

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-  
Graduação em Geografia, Belém, 2017.

1. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Aspectos ambientais  
- Pará. 2. Energia elétrica - Produção - Pará. 3. Energia elétrica -  
Consumo. 4. Produtividade - Alimentos - Pará. 5. Produtividade  
agrícola - Pará. I. Título.

CDD 22. ed. 333.910098115

---

**JOANA CELIA MORAES RODRIGUES**

**O NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS APLICADO AO CONTEXTO DA  
AMAZÔNIA PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal do Pará, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Organização e Gestão do Território.  
Linha de pesquisa: Dinâmica da Paisagem na Amazônia: agentes, processos e conflitos.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Fabian Szlafsztein.

RESULTADO: APROVADA.

DATA: 07/07/2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cláudio Fabian Szlafsztein (Orientador – PPGeo/UFPA)

---

Prof. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel (Examinadora Interna – PPGeo/UFPA)

---

Prof. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade (Examinadora Externa – UFPA – IG - UFPA)

“Depois de estar cansado de  
procurar

Aprendi a encontrar.

Depois que um vento se opôs a mim

Navego com todos os ventos.”

Friedrich Nietzsche.

## AGRADECIMENTOS

Ao longo desses dois anos de mestrado recebi apoio de forma direta e indireta de amigos e familiares que acreditaram em mim. Expresso, portanto, aqui meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cláudio Szlafsztein pela oportunidade concedida de trabalhar ao seu lado, pela orientação e muito que me ensinou, por me inspirar a crescer.

Aos meus amados pais Berenice e Júlio pelo incentivo, apoio e amor incondicional. As minhas irmãs Joyce, Dayse e Juliana pelo carinho, paciência e amor em todos os momentos. A minha prima Sibebe Cordeiro, com quem dividi grande parte de meus anseios e frustrações nesta etapa final do mestrado, pela parceria, incentivo e paciência.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGEO da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de desenvolver este trabalho, assim como, pela utilização de sua infraestrutura. Gostaria de estender esses agradecimentos a todo o seu corpo docente e a secretaria, em especial a Cléo Ferreira por sempre se disponibilizar em ajudar e nos receber tão bem.

À CAPES pela concessão de uma bolsa de mestrado que permitiu minha dedicação exclusiva ao desenvolvimento desta Dissertação.

Ao GEPEDAM pelo suporte e infraestrutura disponibilizada para realização desta Dissertação. A todos os membros deste grupo, em especial Géssica dos Santos Rodrigues e Tayná Rodrigues por me acompanharem nos dias de trabalho árduo no Chalé, por toda ajuda que me deram, pelos almoços, risos, crises e demais momentos compartilhados.

À Prof. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade da Universidade Federal Rural da Amazônia por todo apoio e contribuição a esta pesquisa.

Aos companheiros de turma, em especial Indiara, Isa, Suzanna, Jones, Diego, Pablito, Gilson, Naldo, Camila e João, pela parceria, frustrações, aprendizado, histórias e drafts compartilhadas ao longo destes dois anos, vocês já fazem parte de mim.

Ao meu grande amigo antropólogo João Paulo Carneiro Thury pelos debates e muitas viagens pela Geografia, pelas madrugadas de estudos, pelas frustrações compartilhadas e histórias construídas.

Às amigas que este mestrado me deu Engenheiras Laís Ferreira e Annícia Ferreira e Geógrafa Ana Luiza Araújo.

Aos meus amigos geógrafos que me apoiaram e acompanharam de longe Junior, Adriane e Nayrana pelo incentivo e por sempre acreditarem em mim.

Às amigas da Sukyo Mahikari Socorro Lima e Taís Corrêa, pela luz, incentivo e todo apoio que me concederam para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos amigos do Aslan Cadu e Fábio pelas dicas e incentivo e ao meu Teacher Miguel Garcia pela paciência.

Aos amigos icoaracienses que carinhosamente me acolheram como uma verdadeira família Giseli, Márcio, Silvia, Paulinho, André e Lúcia pelo carinho, cuidado e incentivo sempre, muito obrigada.

As minhas lindas Taize e Tainá por me acolherem carinhosamente em seu lar, pelo incentivo e força, toda a minha gratidão.

## RESUMO

Os recursos hídricos se constituem bens públicos globais imprescindíveis à manutenção da vida no planeta e um importante instrumento econômico-político. A relação entre oferta e demanda de água para as próximas décadas relacionada à geração de energia e a produção de alimentos constitui-se uma preocupação mundial. O crescimento populacional estimado para os próximos anos e as ameaças relativas às alterações do clima têm fomentado debates em diversas escalas do globo, remetendo a necessidade de repensar as formas de planejamento e gestão desses recursos. No intuito de contribuir com informações para a gestão integrada dos recursos água, energia e alimentos na Amazônia, a presente pesquisa objetivou analisar o nexo água, energia e alimentos no contexto dos municípios paraenses. Para tal, realizou-se pesquisa bibliográfica e documental, análise de dados secundários acerca da população; abastecimento humano e consumo de água; indicadores sociais e de saneamento; produção e consumo de energia elétrica; produção de alimentos; produto interno bruto (PIB), além da classificação das variáveis estudadas em unidades observacionais, elencando para cada uma um conjunto de indicadores específicos. Para a unidade observacional água: consumo de água por volume ( $m^3/a$ ); acesso a rede de esgoto e IDH-M. Para a unidade energia: consumo energético estadual; perdas de ICMS; municípios atendidos pela rede de energia elétrica. Para a unidade alimentos: produção agrícola e agropecuária. Também foram utilizados dados cartográficos digitais e o geoprocessamento para espacialização das informações estudadas. A partir da análise foi possível perceber que a demanda por água, energia e alimentos no Estado, não é contemplada de modo satisfatório, além da ausência de diálogo entre os três setores, o desinteresse dos entes competentes no que condiz as demandas locais, e a gestão ineficiente da água na região, constituem-se alguns dos obstáculos principais ao atendimento das demandas amazônicas. Esse estudo é parte das atividades de pesquisa do Projeto “Riscos, Desastres Climáticos e seus Impactos sobre a Segurança Hídrica Alimentar no Estado do Pará no Contexto das Mudanças Climáticas”, integrado ao Grupo de Estudos e Pesquisas sobre Desastres na Amazônia – GEPEDAM.

**Palavras-chaves:** Nexos, recursos hídricos, energia, produção de alimentos.

## ABSTRACT

Water resources are global public goods essential to the maintenance of life on the planet and an important economic-political instrument. The relationship between supply and demand of water for the coming decades related to energy generation and food production is a global concern. The estimated population growth for the next few years and the threats related to climate change have stimulated debates in several scales of the globe, remitting the need to rethink the ways of planning and managing these resources. In order to contribute information to the integrated management of water, energy and food resources in the Amazon, the present study aimed to analyze the nexus of water, energy and food in the context of the municipalities of Para. For this, a bibliographical and documentary research was carried out, analysis of secondary data about the population; human supply and water consumption; social and sanitation indicators; production and consumption of electricity; food production; (GDP), besides the classification of the variables studied in observational units, listing for each a set of specific indicators. For the observational unit water: water consumption by volume ( $m^3 / a$ ); access to the sewage network and IDH-M. For the energy unit: state energy consumption; ICMS losses; municipalities served by the electric power grid. For the food unit: agricultural and livestock production. Digital cartographic data and geoprocessing were also used for the spatialization of the information studied. From the analysis, it was possible to perceive that the demand for water, energy and food in the State is not satisfactorily contemplated, apart from the lack of dialogue between the three sectors, the lack of interest of the competent authorities in the local demands, and inefficient management of water in the region, are some of the main obstacles to meeting Amazon demands. This study is part of the research activities of the Project "Risks, Climate Disasters and their Impacts on Food Water Safety in the State of Pará in the Context of Climate Change", integrated to the Group of Studies and Research on Disasters in the Amazon - GEPEDAM.

**Keywords:** Nexus, water resources, energy, food production.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>CAPITULO 1: ÁREA DE ESTUDO.....</b>   | <b>25</b> |
| 1.1. Recursos Hídricos.....  | 26        |
| 1.1.2 – Superficiais.....  | 26        |
| 1.1.3 – Subterrâneos.....  | 28        |
| 1.2 – Aspectos sociais.....  | 29        |
| 1.2.1 – Atividades produtivas.....   | 29        |
| <b>CAPITULO 2: CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....</b>   | <b>29</b> |
| 2.1. Nexo água-energia-alimentos.....  | 31        |
| 2.2. Relação Homem-natureza.....   | 35        |
| 2.3. Recursos Hídricos.....  | 38        |
| 2.4. Nexo água-energia.....  | 42        |
| 2.4.1. Nexo água-alimentos.....  | 46        |
| 2.4.2. Segurança Hídrica e Alimentar.....  | 48        |
| <b>CAPITULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....</b>   | <b>50</b> |
| 3.1 – MATERIAIS.....   | 50        |
| 3.1.1 – Pesquisa bibliográfica e documental.....   | 50        |
| 3.1.2 – Dados cartográficos digitais.....  | 50        |
| 3.1.3 – Dados secundários sobre população, abastecimento humano e consumo de água, indicadores sociais e de saneamento, produção e consumo de energia elétrica, produção de alimentos e PIB..... | 50        |
| 3.2 – MÉTODOS.....   | 51        |
| 3.2.1 – Análise Estatística.....   | 51        |
| 3.2.1.1 – Classificação das variáveis.....   | 51        |
| 3.2.1.1.1 – Unidade observacional: Água.....   | 52        |
| 3.2.1.1.2 – Indicadores de saneamento básico.....  | 52        |
| 3.2.1.1.3 – Indicadores sociais – IDH-M.....   | 52        |
| 3.2.2.1.2 – Unidade observacional: Energia.....  | 53        |
| 3.2.2.1.3 – Unidade observacional: Produção de alimentos.....  | 53        |
| <b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....</b>   | <b>56</b> |
| 4.1 – Análise conjunta de indicadores sociais e de saneamento nos municípios paraenses.....  | 56        |
| 4.2 – Avaliação da geração e consumo de energia hidroelétrica no estado do Pará.....   | 63        |
| 4.3 – Análise da produção de alimentos.....  | 65        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.1 – Água e produção agrícola.....             | 65        |
| 4.3.2 – Água e produção pecuária.....             | 66        |
| 4.3.3 – Produção agrícola no Estado do Pará ..... | 71        |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                  | <b>83</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                           | <b>86</b> |

## LISTA DE SIGLAS

**ANA** – Agência Nacional de Água

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**AOGCM** – Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera

**CELPA** – Centrais Elétricas do Pará

**CGH** – Centrais de Geração Hidrelétrica

**CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

**CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**FAPESPA** – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas

**GCM** – Modelos Globais Atmosféricos

**GEE** – Gases do Efeito Estufa

**GEPEDAM** – Grupo de Estudos e Pesquisas sobre Desastres na Amazônia

**GIRH** – Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IDESP** – Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará

**IDH** – Índice de Desenvolvimento Humano

**IEA** – Agência Internacional de Energia

**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia

**INCT-MC** – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Mudanças Climáticas

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change

**IRENA** – International Renewable Energy Agency

**MCT** – Ministério de Ciência e Tecnologia

**MMA** – Ministério do Meio Ambiente

**MRH** – Macrorregião Hidrográfica

**PCH** – Pequena Central Hidrelétrica

**PDEE** - Plano Decenal de Expansão de Energia

**PIB** – Produto Interno Bruto

**PNUD** – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

**TEF** – Taxa Específica de Fecundidade

**UHE** - Usina Hidrelétrica

**WGI** – Índice de Governança Mundial

**WID** – Índice de Desenvolvimento Mundial

**WWAP** – United Nations World Assessment Programme

## **ZCIT – Zona Climática Intertropical**

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 1:</b> Eventos e publicações acerca do tema Nexo.....   | 31 |
| <b>Quadro 2:</b> Principais usos da água para geração de energia e os potenciais impactos na qualidade de água..... | 42 |
| <b>Quadro 3:</b> Nexo água-energia e cenários críticos.....   | 45 |
| <b>Quadro 4:</b> Riscos e impactos associados ao Nexo água-energia.....   | 45 |
| <b>Quadro 5:</b> Procedimentos operacionais a serem utilizados na pesquisa.....                                     | 51 |
| <b>Quadro 6:</b> Alguns indicadores utilizados para a análise do Nexo.....  | 55 |
| <b>Quadro 7:</b> Consumo anual de água por município (2013).....  | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 01:</b> População do Estado do Pará por gênero (dados de 2010).....   | 29 |
| <b>Tabela 02:</b> Unidades observacionais e variáveis utilizadas na pesquisa.....   | 52 |
| <b>Tabela 03:</b> Usinas hidrelétricas em funcionamento no estado do Pará.....  | 64 |
| <b>Tabela 04:</b> Barragens planejadas ou em construção no estado.....  | 64 |
| <b>Tabela 05:</b> Pegada hídrica por cultura (m <sup>3</sup> /t).....   | 65 |
| <b>Tabela 06:</b> Pegada hídrica por grupo de culturas (m <sup>3</sup> /t).....   | 65 |
| <b>Tabela 07:</b> Pegada hídrica de derivados da produção agrícola (m <sup>3</sup> /t).....   | 66 |
| <b>Tabela 08:</b> Municípios com os maiores rebanhos bovinos (em cabeça) no Estado do Pará (2013).....                                      | 67 |
| <b>Tabela 09:</b> Municípios com os maiores rebanhos bubalinos (em cabeça) no Estado do Pará, 2013.....                                     | 68 |
| <b>Tabela 10:</b> Municípios paraenses com os maiores rebanhos de galináceos, 2013.....   | 69 |
| <b>Tabela 11:</b> Estimativa de água necessária para produção de 1kg de carne bovina.....   | 71 |
| <b>Tabela 12:</b> Produção agrícola no estado do Pará (lavoura permanente), 2012.....   | 72 |
| <b>Tabela 13:</b> Lavoura permanente no Estado do Pará: quantidade produzida, área colhida, valor da produção e rendimento médio, 2013..... | 75 |
| <b>Tabela 14:</b> Participação dos municípios com as maiores produções de cana-de-açúcar no Estado do Pará, 2013.....                       | 78 |
| <b>Tabela 15:</b> Lavoura temporária no Estado do Pará: quantidade produzida, área colhida, valor da produção e rendimento médio, 2013..... | 80 |
| <b>Tabela 16:</b> Participação dos municípios na lavoura temporária do estado do Pará, 2013.....  | 80 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 01:</b> Interconexões entre água, energia e alimentos.....   | 20 |
| <b>Figura 02:</b> Visão global do Nexo água-energia-alimentos.....   | 21 |
| <b>Figura 03:</b> O Estado do Pará por mesorregião.....  | 25 |
| <b>Figura 04:</b> Regiões Hidrográficas do Estado do Pará.....   | 26 |
| <b>Figura 05:</b> Domínios e subdomínios hidrogeológicos do estado do Pará.....  | 28 |
| <b>Figura 06:</b> Interações entre água e energia.....   | 44 |
| <b>Figura 07:</b> Relações entre alvos em diferentes escalas temporais e espaciais.....                                  | 55 |
| <b>Figura 08:</b> Localização dos municípios analisados.....   | 57 |
| <b>Figura 09:</b> Relação entre IDH-M, população e consumo de água (m <sup>3</sup> /ano).....                            | 58 |
| <b>Figura 10:</b> Consumo de água por município.....   | 59 |
| <b>Figura 11:</b> Domicílios com acesso à rede de esgoto.....  | 61 |
| <b>Figura 12:</b> Domicílios com acesso à rede de esgoto.....  | 62 |
| <b>Figura 13:</b> Domicílios com acesso à rede de esgoto.....  | 62 |
| <b>Figura 14:</b> Municípios com maiores rebanhos bovinos do Estado, 2013.....   | 68 |
| <b>Figura 15:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de banana do Estado do Pará, 2013.....           | 73 |
| <b>Figura 16:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Cacau do Estado do Pará, 2013.....            | 74 |
| <b>Figura 17:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Dendê do Estado do Pará, 2013.....            | 74 |
| <b>Figura 18:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Pimenta-do-reino do Estado do Pará, 2013..... | 75 |
| <b>Figura 19:</b> Participação (%) dos dez municípios que se destacam na lavoura permanente do Estado, 2013.....         | 76 |
| <b>Figura 20:</b> Municípios que se destacam na lavoura permanente, 2013.....  | 77 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 21:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Mandioca do Estado do Pará, 2013..... | 78 |
| <b>Figura 22:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Milho do Estado do Pará, 2013.....    | 79 |
| <b>Figura 23:</b> Participação (%) dos municípios com maiores produções de Soja do Estado do Pará, 2013.....     | 79 |
| <b>Figura 24:</b> Municípios que se destacam na lavoura temporária, 2013.....                                    | 81 |
| <b>Figura 25:</b> Participação das maiores lavouras em valor (%), 2013.....                                      | 82 |

## INTRODUÇÃO

A água é o elemento central da existência de vida na Terra, podendo ser caracterizada como um recurso natural crítico, do qual todas as atividades econômicas e ecossistemas são dependentes. A demanda global por água concentra-se basicamente em quatro atividades: geração de energia, agropecuária, processos industriais e consumo humano. Cada uma destas atividades responde por parte do consumo e pelo impacto na quantidade de água disponível. Em escala global, os consumos agrícolas, industriais e humano são responsáveis por aproximadamente 70%, 20% e 10% da retirada de água doce disponível, respectivamente (LINS et al., 2014).

O desenvolvimento econômico, o crescimento da população e da urbanização, tendem a aumentar a demanda mundial por água, energia e alimentos, gerando maior pressão sobre os padrões de consumo destes recursos, intensificando os conflitos entre os setores hídrico, energético e alimentar, e afetando o meio ambiente, a população e a economia (MARIANI et al., 2016).

A relação entre oferta e demanda de água para as próximas décadas e sua inter-relação com a geração de energia e a produção de alimentos constitui-se uma preocupação mundial trazida ao debate como “nexo água-energia-alimentos”, emergindo como uma nova abordagem concernente ao desenvolvimento sustentável (YANG et al., 2016; HALBE et al., 2015; BIGGS et al., 2015; LECK et al., 2015; MACHEL et al., 2015; LINS et al. 2014; BAZILIAN et al., 2011). Atrelado a isto, as mudanças do clima e a ocorrência de eventos climáticos extremos têm afetado a disponibilidade de água, a geração de energia e a produção de alimentos em diversas escalas (MARIANI et al., 2016). Tais fatores fomentam debates no cerne de organizações multilaterais, como o Banco Mundial, além de, ser foco de importantes eventos internacionais (GIATTI et al., 2016).

Água, energia e alimentos são recursos indispensáveis à sociedade humana. Estes em geral são estudados de forma isolada, sem que se considere suas interrelações (ZHOU et al., 2015; BORDALO et al., 2012; LIMA et al., 2010; BROWN e CHRISTOPHER, 2008; IGLESIAS et al., 2007; HELLSTRON et al., 2000). Persiste uma lógica que acompanha as ações de gestão e planejamento dos recursos ambientais que não favorece as interdependências entre os mesmos, uma vez que, verifica-se uma tradição de planejamento e ações setoriais. A geração de energia, por exemplo, acarreta elevada demanda por água ou mesmo sua poluição. A produção de alimentos em larga

escala caracteriza análoga amplitude na alocação de insumos agrícolas e de recursos hídricos. A oferta de água para abastecimento público demanda energia para captação, tratamento e distribuição (GIATTI et al., 2016). No entanto, cada recurso é tratado como um setor, tendo suas próprias metas de ações e planejamento, assim como órgãos de gestão específicos.

Bazilian et al. (2011) descrevem alguns elementos comuns do nexos como subsídios importantes à sua gestão. Água, geração energética e produção de alimentos têm problemas quanto à disponibilidade e acesso, seja em quantidade ou qualidade; são bens globais limitados, com tendência ao aumento da demanda por eles; apresentam diferentes disponibilidades e variações na oferta e estão fortemente ameaçados pelas alterações climáticas.

Água, energia e alimentos possuem estrita relação e são recursos fundamentais e intrínsecos ao desenvolvimento humano e à sustentabilidade, deste modo, o uso insustentável ou a gestão deficiente de um destes poderá comprometer a oferta e a acessibilidade dos outros dois.

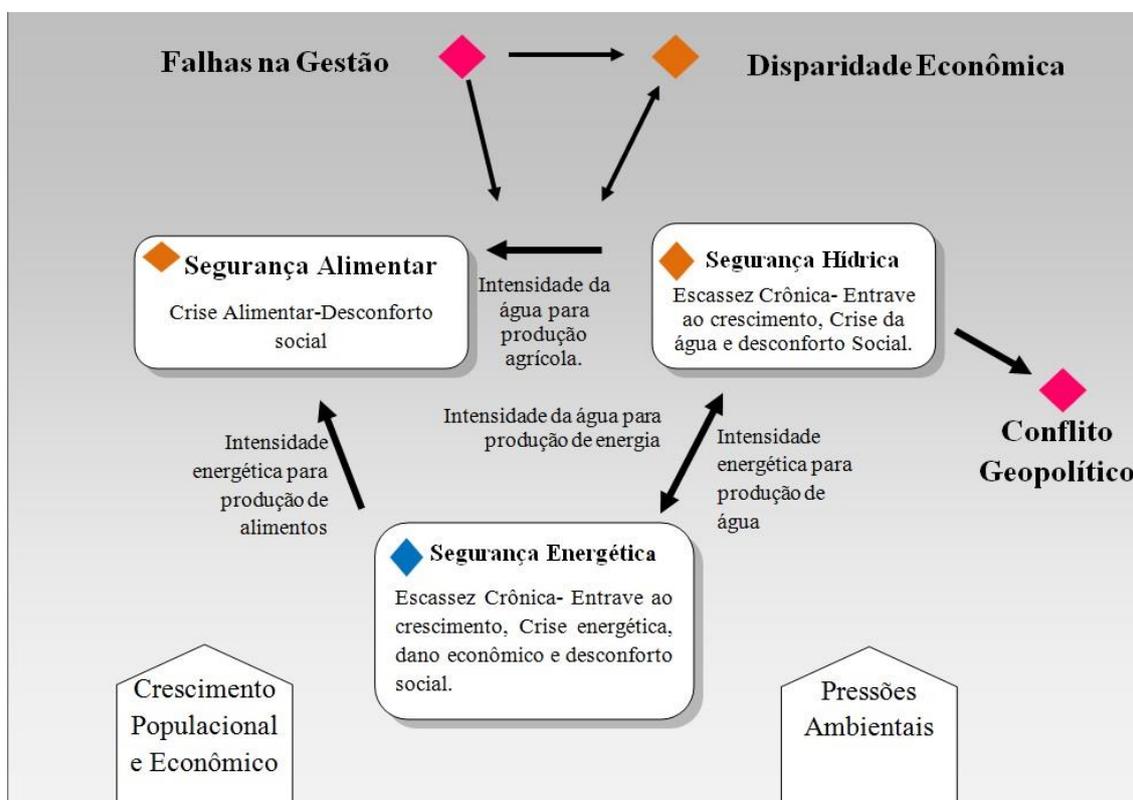
Pensar o nexo água-energia-alimentos requer a criação de estratégias que possibilitem a utilização destes recursos sem comprometer as demandas atuais e futuras. Neste sentido, o desenvolvimento de políticas que direcionem a gestão dos mesmos, torna-se primordial. Gerir o nexo de modo eficaz, tendo a água como seu sustentáculo, é uma importante estratégia de prevenção de conflitos pelo acesso e de estresse dos mesmos, fatores que ameaçam a segurança hídrica, energética e alimentar.

A Conferência Internacional sobre o Nexo Água, Energia e Segurança Alimentar – Soluções para uma Economia Verde, ocorrida em 2011 em Bonn (Alemanha), trouxe maior atenção sobre essas interligações e apresentou evidências iniciais de como uma abordagem sobre o nexo pode melhorar a segurança hídrica, energética e alimentar por meio do aumento da eficiência, da redução de perdas, da construção de sinergias e da melhoria da governança em todos os setores (MARIANI et al., 2016).

O World Economic Forum (2011) aponta a insegurança hídrica, alimentar e energética como impedimentos crônicos ao desenvolvimento econômico e a estabilidade social. Analisando-os sob o enfoque de riscos, evidencia a interdependência entre os três elementos, além das interferências do crescimento econômico e populacional e das pressões ambientais.

Na figura 01, que ilustra as interconexões entre água, energia e alimentos, nota-se que a gestão deficiente de um dos recursos, põe em risco a segurança dos outros e do nexos como um todo. Considerando a matriz energética do Brasil, por exemplo, uma crise hídrica afetaria drasticamente a geração de hidroeletricidade, gerando riscos ao desenvolvimento do país, danos econômicos, desconforto social, e até mesmo uma crise energética. Do mesmo modo, comprometeria a segurança alimentar, com a redução da oferta de água para a produção agrícola, e os sistemas de abastecimento das cidades, que além de água demandam energia para o seu funcionamento.

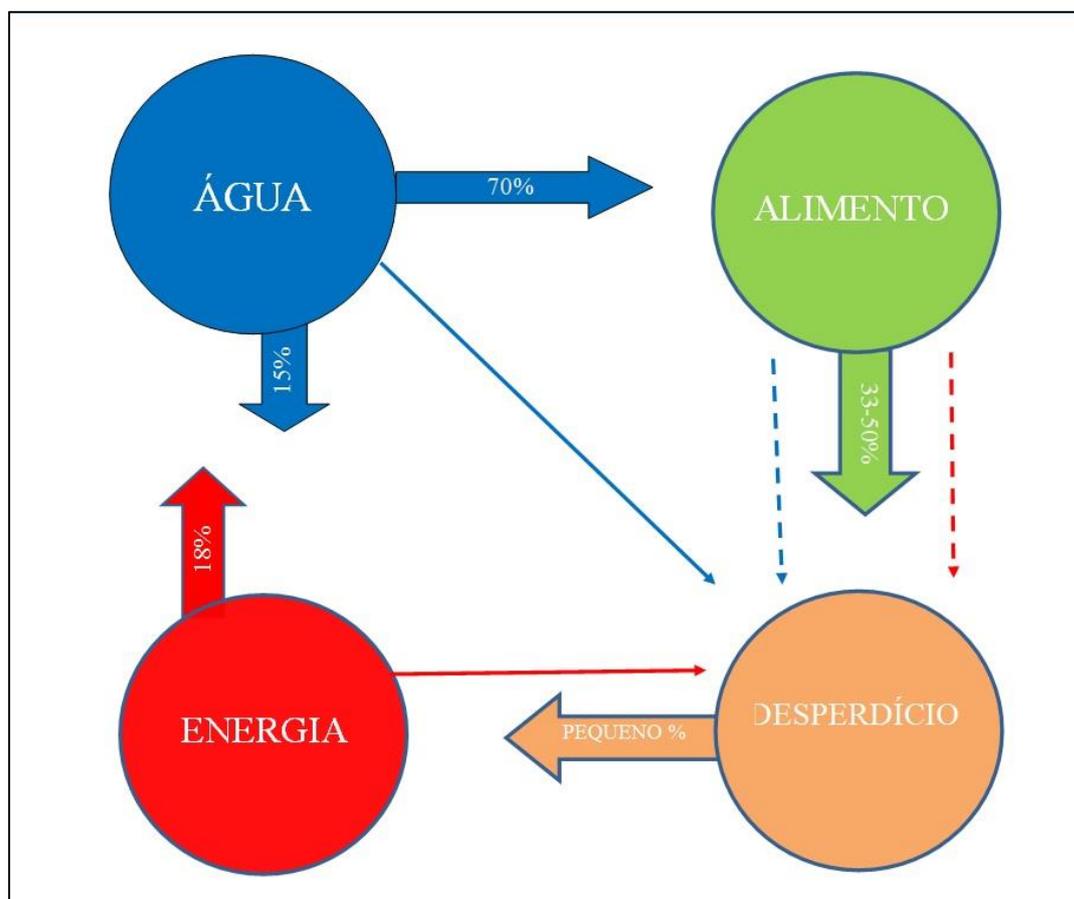
Figura 01: Interconexões entre água, energia e alimentos.



Fonte: Adaptado de Bazilian et al. (2011).

A água é essencial para a produção energética, cerca de 15% da água doce global é utilizada pelo sistema energético. Em contrapartida, a energia é consumida para fornecer água para utilização nos setores industrial, agrícola e residencial. Sistemas de captura, transferência, tratamento e distribuição de água utilizam aproximadamente 15% da energia produzida em escala mundial. O recolhimento, transferência e tratamento de águas residuais para que possam retornar ao ambiente igualmente requerem quantidades significativas de energia. A produção de alimentos consome tanto água quanto energia para crescimento, colheita, limpeza e preparo dos alimentos (MACHEL et al., 2015) (Figura 02).

Figura 02: Visão global donexo água-energia-alimentos.



Fonte: Adaptado de Machell et al., (2015).

O Brasil apresenta elevada demanda por recursos hídricos, no entanto, a gestão da oferta é deficiente. Esta fragilidade da gestão da oferta hídrica no país engendra degradação e desperdício dos recursos hídricos. O crescimento da população urbana atrelado à falta de planejamento gera pressão sobre os mananciais que abastecem as cidades, além disso, a deficiência dos sistemas de saneamento básico contribui para a poluição de muitos corpos d'água, em função de esgotos domésticos e efluentes das drenagens urbanas. Nas áreas rurais a degradação se dá principalmente por meio das cargas difusas associadas às atividades agrícolas. Aproximadamente 60% da água utilizada na agricultura é desperdiçada, 40% da água tratada e distribuída nas cidades é perdida antes de chegar ao consumidor final (ANA, 2014).

O uso insustentável da água e a ineficiência dos sistemas de distribuição e abastecimento ocasionam perdas significativas. Dado que água, energia e alimentos são também insumos no processo de geração de energia, produção de alimentos e tratamento de água, assim sendo, o desperdício combinado dos três elos é ainda mais

alto. Um planejamento integrado, que considere simultaneamente a geração de energia, a produção agrícola e o abastecimento humano para manter o fornecimento de água sustentável em longo prazo, é necessário. O planejamento hídrico está intimamente ligado aos planos de produção energética e de fomento à agricultura, de urbanização e de preservação ambiental. A maximização dos benefícios para a sociedade proporcionados pelo uso da água exige a interação dos diferentes planos setoriais (LINS et al., 2014).

Além da problemática do desperdício e má gestão dos recursos ambientais, fatores como a variabilidade e as alterações climáticas tendem a gerar impactos significativos sobre os três elos donexo, principalmente sobre a disponibilidade hídrica em escala local, regional e global. De acordo com o *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC, 2013), a Amazônia pode ser considerada uma das regiões mais vulneráveis as mudanças do clima no Brasil, sendo apontada como um *climate change hot spot*, para a qual as previsões indicam reduções de 10% na distribuição das chuvas e aumento de temperatura de 1 a 1,5°C até 2040.

O estado do Pará, integrante da região Amazônica, também se encontra ameaçado pelas alterações climáticas, desastres climáticos como secas e estiagens, inundações, alagamentos e enchentes que afetam tanto a população quanto os recursos e o ambiente, além da problemática do desperdício, distribuição deficiente da oferta dos recursos hídricos e ineficiência da gestão dos mesmos.

De acordo com Lewis (2011), em 2005 e 2010 no estado do Pará 54 municípios das mesorregiões do Marajó, Sudoeste, Sudeste e Baixo Amazonas, foram atingidos por secas extremas, causadas em função de anomalias climáticas. Ainda de acordo com o mesmo autor, no ano de 2010 a estiagem foi mais intensa, ficando a precipitação média anual menor que 200 mm (a média pluviométrica anual do estado é 1400 a 1800 mm), conseqüentemente muitos mananciais ficaram com seus níveis de volume baixo.

Seca e estiagem são fenômenos conhecidos no Brasil desde o século XVI, particularmente na Região Nordeste, e são considerados como os desastres naturais de maior ocorrência e impacto no mundo, pois atingem grandes extensões territoriais (FONSECA e SZLAFSZTEIN, 2013). A estiagem caracteriza-se um fenômeno natural, que ocorre em função de um período prolongado de baixa pluviosidade ou sua ausência, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição (CASTRO, 1998). Já a

seca ocorre de modo permanente, podendo ser definida como uma forma crônica de estiagem (KOBAYAMA et al., 2006).

Num cenário ameaçado por mudanças do clima, cabe verificar a disponibilidade, demanda e perspectivas de utilização dos recursos hídricos em concomitância aos recursos de energia e alimentos, a fim de melhor geri-los. Há pouca informação disponível acerca da demanda por água no Estado, haja vista que o foco maior da gestão tem sido a oferta.

De acordo com Lima et al. (2010), o extremo oriental do Pará (MRH do Tocantins-Araguaia e no sul-sudeste da MRH da Costa Atlântica-Nordeste) é a região que menos favorece a manutenção dos sistemas hídricos, contribuindo para ocorrência de períodos secos mais rigorosos. As demais áreas destacam-se pela boa oferta, principalmente os extremos Noroeste e Norte. Porém, as mudanças do percentual de cobertura vegetal poderão implicar em uma vulnerabilidade crescente, gerando mudanças inclusive no comportamento de áreas mais favoráveis à manutenção hídrica com o avanço da ação antrópica e do cerrado, que favorecem o aumento da evaporação.

Ainda segundo estes autores observa-se no o estado do Pará uma polarização, a maior oferta hídrica nas regiões menos solicitadas e a maior pressão socioeconômica nas regiões com condições mais restritas de manutenção da mesma. Os eixos da BR 010 e da BR 163 apresentam o seguinte contexto: a região oriental do Estado (a mais vulnerável segundo os fatores climáticos), como a mais densamente ocupada e a de maior e mais diversificada produtividade; e a MRH do Tapajós como uma área de franco avanço do setor produtivo.

Mudanças climáticas e mudanças sociais, tais como; o crescimento econômico e populacional e o avanço da urbanização tendem a gerar maior pressão sobre os recursos: água, alimentos e energia, porque envolvem o aumento da demanda destes, podendo acarretar em conflitos pelo acesso, como já se observa em algumas regiões do mundo.

A Amazônia apesar de ser vista como uma região com abundância de recursos naturais e grande potencial hídrico, o que impulsiona a geração de hidroenergia e a produção agrícola, apresenta-se ameaçada pela ausência de gestão efetiva desses recursos. É uma região carente em termos econômicos e infraestruturais, onde grande parte da população não tem seus direitos básicos atendidos, o que se configura em um paradoxo muito evidente entre disponibilidade e acesso a água, alimentos e energia.

Considerando que o estado do Pará detém uma rica rede de drenagem e possui grande potencial para a geração de energia e a produção de alimentos. Espera-se que os resultados obtidos possam auxiliar o processo de gestão integrada desses recursos.

Com o intuito de contribuir com informações para a gestão integrada dos recursos água, energia e alimentos na Amazônia, a presente pesquisa teve como objetivo geral analisar o nexo água, energia e alimentos no contexto dos municípios paraenses. Esse estudo é parte das atividades de pesquisa do Projeto “Riscos, Desastres Climáticos e seus Impactos sobre a Segurança Hídrica Alimentar no Estado do Pará no Contexto das Mudanças Climáticas”, integrado ao Grupo de Estudos e Pesquisas sobre Desastres na Amazônia – PEGEDAM. Para tal, buscou-se responder aos seguintes questionamentos:

- a) Como se apresenta a relação entre oferta e demanda por água, energia e alimentos no Estado?
- b) Qual a oferta e a demanda energética do Estado e sua relação com os recursos hídricos?
- c) Como a água é utilizada na produção de alimentos no Estado?

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, o primeiro apresenta o estado do Pará como *locus* da presente análise. O segundo denota o escopo conceitual e teórico norteador da pesquisa. O terceiro estabelece os materiais e métodos utilizados. No quarto capítulo mostram-se os resultados obtidos na análise. O quinto capítulo apresenta as proposições finais deste estudo.

## 1. ÁREA DE ESTUDO

O estado do Pará, localizado na região Norte do Brasil, possui um território de 1.247.955 km<sup>2</sup>, dividido em 144 municípios (IBGE, 2015). Estes estão agrupados em seis mesorregiões administrativas: Metropolitana, Baixo Amazonas, Nordeste Paraense, Região do Marajó e Tocantins, Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense (figura 3), que reúnem uma população aproximada de 8.272.724 milhões de habitantes (IBGE, 2016). Sete municípios compõem a Região Metropolitana de Belém: Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba, Santa Bárbara, Santa Isabel do Pará e Castanhal. Destacam-se, ainda, várias outras cidades como Santarém (região do baixo Amazonas), Marabá e Parauapebas (região Sudeste), Bragança (região Nordeste), Abaetetuba e Cametá (região do Marajó e Tocantins) e Altamira (região Sudoeste). O Estado faz fronteiras internacionais com a Guiana e o Suriname, e nacionais com os Estados do Amapá, Amazonas, Roraima, Mato Grosso, Maranhão e Tocantins.

Figura 3: O estado do Pará por mesorregiões.



De acordo com o IDESP (2013), o estado do Pará se destaca nacionalmente pela produção mineral, possui o quinto maior rebanho bovino do Brasil e é o principal produtor de dendê. Tendo uma economia balizada em recursos naturais, configura-se

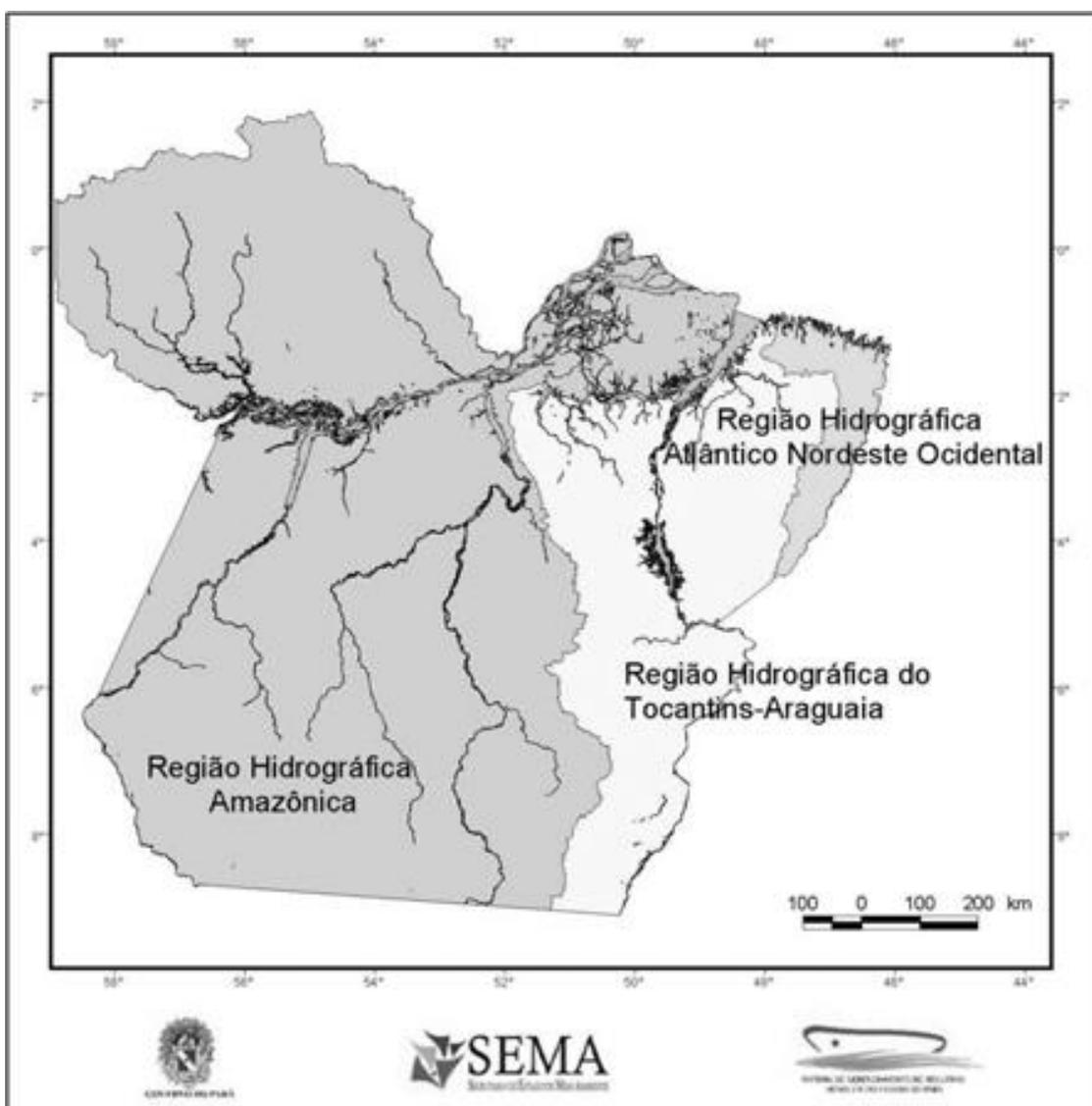
em um território de grandes empreendimentos econômicos altamente relevantes para o desenvolvimento nacional, tais como: usinas hidrelétricas, portos, rodovias, ferrovias, hidrovias e empreendimentos de extração mineral.

## 1.1 – RECURSOS HÍDRICOS

### 1.1.2 – SUPERFICIAIS

O estado do Pará, conforme as Resoluções nº 30 (11 de dezembro de 2002) e nº 32 (15 de outubro de 2003) do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos – CNRH encontra-se dividido em três Regiões Hidrográficas Nacionais, a saber: Amazônica, Tocantins-Araguaia e Costa Atlântica-Nordeste Ocidental (Figura 04).

Figura 04: Regiões Hidrográficas do estado do Pará.



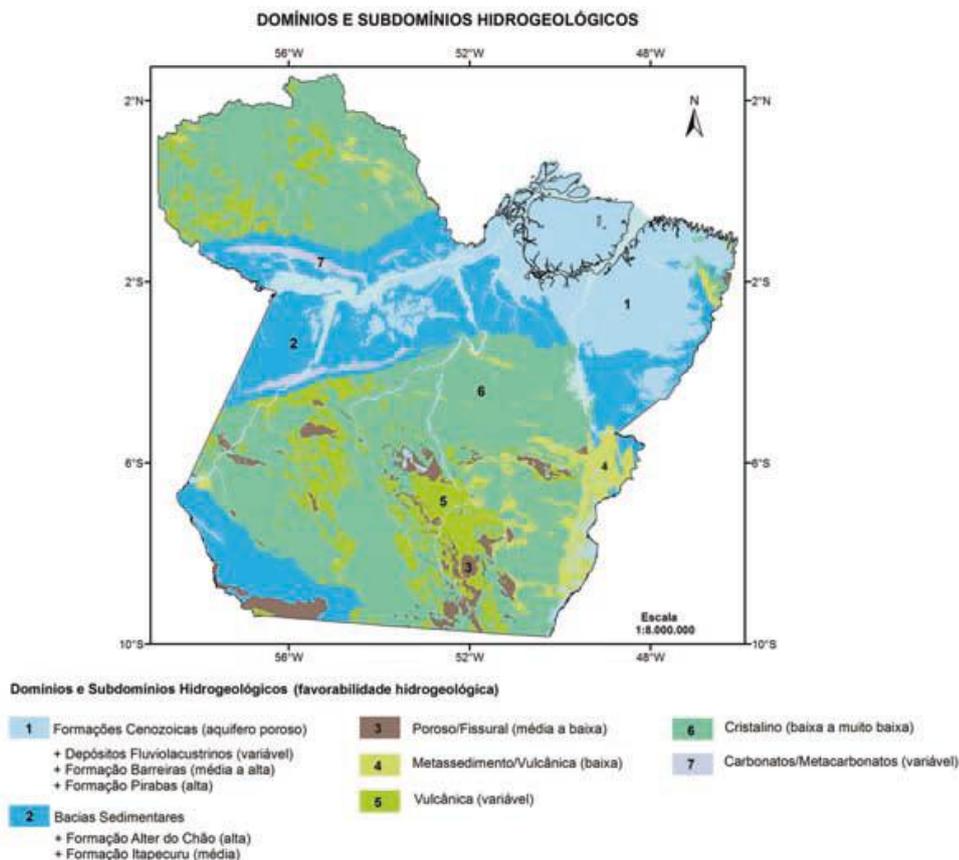
Fonte: Lima et al. (2010).

De acordo com CPRM (2013), a Região Hidrográfica Amazônica, a mais extensa rede hidrográfica do mundo, ocupa uma área total aproximada de 6.974.410 km<sup>2</sup>, desde as nascentes, nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico - 64% no território brasileiro, dos quais 29% no Pará. O rio Amazonas, em sua última seção de medição antes da foz, no município de Óbidos, tem a descarga líquida média de 180.000 m<sup>3</sup>/s. Como principais afluentes no estado do Pará, em sua margem esquerda estão os rios Nhamundá, Trombetas, Curuá, Maicuru, Paru e Jarí; em sua margem direita, os rios Tapajós e Xingu. No Pará, as sub-bacias são as dos rios Trombetas, Tapajós, Xingu e Jari. O estuário da foz do rio Amazonas influencia toda a região do arquipélago do Marajó. A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, constituída pela bacia hidrográfica do rio Tocantins, engloba os rios Itacaiúnas, Tocantins e Araguaia, que tem suas nascentes na Região Centro-Oeste do Brasil. No Pará as sub-bacias constituintes são: rio Tocantins, rio Araguaia, baixo trecho do rio Araguaia e baixo trecho do rio Tocantins, após confluência com o rio Araguaia. A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, possui uma área de 254.100 km<sup>2</sup>, sendo 9% dessa área pertencente ao estado do Pará. Esta Região tem como seus principais rios: Capim, Moju, Acará e Gurupi (CPRM, 2013).

### 1.1.3 – SUBTERRÂNEOS

Segundo a CPRM (2013), o referido estado encontra-se dividido em sete grandes domínios hidrogeológicos: Formações Cenozoicas (aquífero poroso); Bacias Sedimentares; Poroso/Fissural; Metassedimento/Vulcânica; Vulcânica; Cristalino; Carbonatos/Metacarbonatos (Figura 05).

Figura 05: Domínios e subdomínios hidrogeológicos do estado do Pará. Fonte: CPRM (2013) apud Bomfim (2006).



Os principais aquíferos explorados no Estado sejam para abastecimento público ou privado são: Barreiras e Pirabas, Alter do Chão e Itapecuru; além daqueles relacionados às coberturas aluvionares (depósitos recentes e terraços fluviais) em locais diversos. Também podem ser citados os aquíferos fissurais, em rochas cristalinas, com utilização pouco expressiva no sul/sudoeste paraense (CPRM, 2013).

O Sistema Aquífero Alter do Chão ocorre desde a fronteira com o estado do Amazonas até a borda da Bacia do Marajó, abrangendo uma área de aproximadamente 9.870 km<sup>2</sup>, sendo aflorante nas cidades de Faro, Oriximiná, Óbidos, Juruti, Terra Santa, Santarém, Alenquer, Aveiro, Prainha, Brasil Novo, Vitória do Xingu, Senador José Porfírio e Porto de Moz (MELO Jr. e LIMA, 2013).

O Sistema Aquífero Barreiras tem ampla distribuição na costa brasileira, aflorando de forma descontínua da região Norte à região Sudeste. Constitui um aquífero predominantemente livre, que ocupa uma área de 176.532 km<sup>2</sup>. Este sistema tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas: São Luís, Fortaleza, Natal, Maceió e Belém (CPRM, 2013).

A Formação Itapecuru tem ampla distribuição nas regiões nordeste e sudeste do Pará, suas melhores exposições localizadas em cortes de estradas, principalmente ao longo das BR-316 e BR-010, sendo Tucuruí, Paragominas, Jacundá, Ipixuna, Nova Ipixuna, Marabá, Dom Elizeu, Ulianópolis e São Domingos do Araguaia as principais cidades abastecidas por este aquífero. Este aquífero ocorre sob o tipo poroso, semiconfinado a livre e está inserido na Região Hidrográfica Dominante do Tocantins, sendo sua produtividade de média a fraca (MELO Jr. e LIMA, 2013).

## 1.2 – ASPECTOS SOCIAIS

De acordo com o IBGE (2010), o Estado do Pará conta com uma população em maioria adulta, representada por 52% dos habitantes numa faixa etária de 20 a 59 anos, o restante compreende: 21% de adolescentes entre 10 e 19 anos de idade; 20% de crianças até 9 anos; 7% de idosos maiores que 60 anos de idade. A população total masculina consta de 3.821.837 habitantes e a feminina com 3.759.214, conforme a tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1: População do Estado do Pará por gênero.

| POPULAÇÃO POR GÊNERO |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|                      | URBANA    | RURAL     | TOTAL     |
| HOMENS               | 2.537.790 | 1.284.047 | 3.821.837 |
| MULHERES             | 2.653.769 | 1.105.445 | 3.759.214 |

Fonte: IBGE (2010).

Os homens respondem por 60% dos vínculos na maioria dos setores econômicos do Estado, com exceção apenas da Administração Pública, onde as mulheres representam 57%, ambos na faixa etária de 30 a 39 anos, concentrando o maior número de vínculos, desse total a maioria possuía o ensino médio, contabilizando 46% dos registros formais de vínculos trabalhistas (FAPESPA, 2015).

De acordo com a FAPESPA (2015) de 2005 a 2014 o total dos vínculos trabalhistas no Estado cresceu 81%, variação que significou um acréscimo de 512.728 empregos formais na atividade produtiva paraense, sobretudo nos setores da Construção Civil, Extrativo Mineral e de Serviços.

### 1.2.1 – ATIVIDADES PRODUTIVAS

Segundo o IDESP (2014) na economia paraense predominam três setores: serviços, indústria e agropecuária. O setor de serviços representa 89,6% dos municípios

do estado, e engloba as seguintes atividades: comércio, transportes, serviços de informação, intermediação financeira, administração pública; atividades imobiliárias e aluguel, dentre outros serviços. Em seguida destacam-se o setor agropecuário com 5,6% e o industrial com 4,9 %, que se divide em: indústria extrativa, de transformação, de produção e distribuição de eletricidade e água e de construção. Evidenciam-se também neste último setor, o extrativismo vegetal, a pesca e a mineração. O estado possui um rico potencial mineral, quase todo o seu território é passível de exploração. Esta atividade possui maior representatividade em Parauapebas e Canaã dos Carajás, que estão entre os 12 municípios de maior PIB do estado, sendo o de Parauapebas o segundo maior PIB, ficando atrás apenas da capital Belém, com uma participação de 18,59% no PIB estadual.

## 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este capítulo objetiva introduzir a estrutura conceitual e teórica de referência a ser utilizada ao longo desta dissertação.

### 2.1 - NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS

O conceito de nexos vem ganhando eminente destaque e integrando um novo vocabulário concernente ao desenvolvimento sustentável. Em termos propositivos o nexos se aproxima a concepções e iniciativas vinculadas a economia ecológica, permitindo uma racionalidade e ações voltadas a investir na conservação de serviços ecossistêmicos, criar mais com menos e acelerar o acesso de grupos excluídos promovendo inclusão de populações mais pobres (GIATTI et al., 2016).

Esse conceito surgiu em resposta as alterações climáticas e mudanças sociais, incluindo o crescimento populacional e econômico, a globalização, a urbanização, a evolução das desigualdades na sociedade e o descontentamento social face a estas mudanças (ENDO et al., 2015). No cenário internacional este tema foi discutido em vários eventos e publicações (Quadro 1):

Quadro 1: Eventos e publicações acerca do tema Nexos. Fonte: Mariani et al. (2016).

| EVENTOS  | PÚBLICAÇÕES   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Conferência Internacional sobre o Nexos água, energia e segurança alimentar – Soluções para uma economia verde, em Bonn em 2011 (HOFF, 2011);</li><li>• Conferência Rio+20 em 2012, destacando as relações entre água, energia e alimento, nutrição e sustentabilidade, cidades sustentáveis, saúde, biodiversidade e desertificação (ONU, 2012);</li><li>• Conferência Climática da Organização das Nações Unidas – COP18 em Doha em 2012, descrevendo o nexos água, energia e alimento como a face humana e a solução para as mudanças climáticas (WMO, 2012).</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• “<i>Segurança Hídrica: o nexos água-alimento-energia-clima ou Water Security: The Water-food-energy-climate Nexus</i>” (WEF, 2011);</li><li>• “<i>Riscos globais</i>” 2011; “<i>Riscos Globais</i>” 2015, do Fórum Econômico Mundial, citando o nexos água, energia e alimento como uma questão para a segurança global (WEF, 2011; WEF, 2015);</li><li>• “<i>The Water-Energy-Food Nexus: a new approach in support of food security and sustainable agriculture</i>” (FAO, 2014).</li></ul> |

A concepção de nexos é decorrente desse esforço internacional em reconhecer as limitações impostas por uma possível escassez hídrica global.

Assim, entende-se que a água como elo principal do nexos, é vista como um bem global finito indispensável à vida e sua ausência impossibilita o desenvolvimento de qualquer sociedade. Sua oferta em quantidade e qualidade constitui-se um desafio comum à humanidade (TUCCI et al., 2001; MARENGO, 2008; HALL et al., 2010; BAZILIAN et al., 2011; FAO, 2011; VOROSMARTY et al., 2015; WWAP, 2015; YANG et al., 2016).

O nexu água, energia e alimentos se coloca como uma proposição de busca de eficiência sistêmica, como uma reflexão e como um contraponto ao desempenho isolado de distintos setores (HOFF, 2011).

A ineficiência da gestão da água e a ausência de controle pelo poder público engendram o uso inadequado e o desperdício. Além disso, o aumento da demanda humana, os índices crescentes de poluição e degradação ambiental são ameaças a sustentabilidade do nexu, colocando em risco a segurança dos subsistemas energético e alimentar.

Nesse sentido, o nexu vem sendo promovido como uma ferramenta conceitual para alcançar o desenvolvimento sustentável. Esta sinergia água-energia-alimentos envolve a busca pelo equilíbrio entre a oferta de recursos naturais e a demanda sobre o meio ambiente (BIGGS et al., 2015).

Deste modo, o nexu pode ser caracterizado como uma nova abordagem para a pesquisa e formulação de políticas. Água, energia e alimentos estão estreitamente ligados. Essa abordagem amplia a discussão da mera gestão dos recursos hídricos. A luz do conhecimento acerca das contingências e interdependências entre água, energia e alimentos emerge essa proposta de abordagem diferenciada no campo da sustentabilidade, demandando manejo integrado e governança através de distintos setores e diferentes escalas territoriais (GIATTI et al., 2016).

A ameaça de escassez hídrica é um desafio constante a humanidade, as contingências do possível esgotamento ou depleção dos recursos naturais, ou mesmo, a desestabilização social e econômica que podem decorrer desses processos, remetem em alguns autores esforços para avaliar as inter-relações entre água, energia e alimentos (HOFF, 2011; BIGGS et al., 2015; KESKINEN et al., 2015; LECK et al., 2015; MACHEL et al., 2015; VILLAMAYOR-TOMAS et al., 2015). Estes estudos, em geral, analisaram o nexu considerando as inter-relações entre água, energia e alimentos ou entre água e energia, ou água e alimentos em diferentes escalas territoriais, na busca de medidas de gestão integrada desses recursos. A maioria deles considerou as ameaças provenientes das mudanças climáticas e seus possíveis impactos sobre a sustentabilidade do nexu.

Platonova e Leone (2012) analisaram o nexos água-energia na América Latina, África Oriental e Austrália, tendo em vista o desenvolvimento de medidas de adaptação desse sistema e das comunidades afetadas às mudanças do clima.

Biggs et al. (2015) abordaram o nexos água-energia-alimentos como um instrumento para alcançar o desenvolvimento sustentável, a partir da discussão sobre meios de subsistência. Este trabalho apresentou uma revisão crítica das abordagens do nexos, identificando os vínculos entre este e a teoria de subsistência sustentável. Seu principal resultado consistiu na geração de uma estrutura integrada para medir e monitorar a segurança dos sistemas água-energia-alimentos em múltiplas escalas e níveis institucionais.

Keskinen et al. (2015) compartilharam a experiência com o uso da abordagem do nexos na área de um lago no Camboja, e concluíram que água, energia e segurança alimentar estão interconectadas.

Machel et al. (2015) abordaram a interdependência entre água, energia e produção de alimentos a partir de uma visão global, com o intuito de apontar soluções à gestão integrada do nexos, elencaram os desafios enfrentados por cada setor e as relações de consumo entre ambos.

No Brasil, o nexos foi trazido ao debate a partir dos trabalhos de Gregório e Martins (2011), Lins et al. (2014), Dias et al. (2014), Scott (2014), Mariani et al. (2016) e Giatti et al. (2016). Outros trabalhos envolvendo a supracitada discussão também foram desenvolvidos no âmbito da América Latina por Platonova e Leone (2012).

Um fator de destaque dentro da discussão sobre o nexos água-alimentos-energia é a segurança hídrica, visto que a exposição dos recursos hídricos ao risco de escassez pode afetar não somente a disponibilidade de água, mas a segurança dos três elos do nexos, comprometendo o acesso e a oferta de água, energia e alimentos.

De acordo com Endo et al. (2015), estima-se que 54% da população mundial vive em áreas urbanas e que esta proporção deve aumentar para 66% em 2050, além disso, cerca de 1,1 bilhões de pessoas no mundo em desenvolvimento atualmente não têm acesso a uma quantidade mínima de água limpa e 1,2 bilhões vivem ainda em extrema pobreza.

A gestão dos recursos hídricos deve ater-se aos sistemas cujo desenvolvimento possui estrita relação com a água. Considerando as disparidades entre oferta e demanda,

a participação de consumidores e usuários nos processos decisórios, a colaboração entre as diversas instâncias do poder público, no intuito de garantir a oferta de água em quantidade e qualidade atual e futura.

O nexu emerge como um paradigma complexo, cuja discussão se constitui mais um desafio contemporâneo, que só pode ser compreendido a luz de uma reflexão crítica, pois envolve questões incutidas numa lógica global-local. Problemas referentes a escassez e ao nexu configuram-se dilemas de amplitude planetária. Nesse sentido, a busca de sinergias e de redução de compensações e perdas dentre os elementos do nexu requer o estabelecimento de recortes analíticos e de proposições de ações em que sejam operacionalizadas as decisões e medidas capazes de contribuir para uma eficiência sistêmica. É fundamental o desenvolvimento de abordagens analíticas integradas que busquem compreender essas compensações, as possibilidades de sinergias e aumento de eficiência entre os sistemas de água, energia e alimentos, além, é claro, de se buscar melhores escolhas a partir do envolvimento de atores sociais (GIATTI et al., 2016).

A abordagem do nexu é imprescindível a gestão eficiente dos recursos ambientais, visto que, induz ao desenvolvimento de uma nova lógica para pensar o manejo, a gestão e o planejamento desses recursos, a partir da criação de políticas e ações com rumo a sustentabilidade.

Dentro desse contexto surge o conceito de governança como um novo modelo para conceber os recursos, que ultrapassa a discussão da gestão integrada. Segundo Giatti et al. (2016), a governança pode ser entendida como um processo de incorporação de atores não estatais em novos arranjos para a tomada de decisão, essencialmente viabilizando um processo inclusivo, a busca de resolução de conflitos oriundos de contingências e a perspectiva democrática de gestão em distintos níveis. É uma possibilidade em que atores alocados em situação de exclusão e vulnerabilidade devem ter a possibilidade de representação o processo decisório e isso pode corroborar, inclusive, para a corresponsabilização dos atores quanto aos recursos e sua utilização.

A governança é um desafio em si, sobretudo, na atual conjuntura onde ainda se caminha a passos lentos rumo a gestão integrada dos recursos.

Os recortes espaciais também são desafios à operacionalização do nexu, podendo ser dados por bacias hidrográficas (KESKINEN et al., 2015; KARABULUT et al., 2016), cidades ou regiões metropolitanas (WALKER et al., 2014; GIATTI et al.

2016), países, estados ou continentes (PLATONOVA e LEONE, 2012), e até mesmo em dimensões menores e restringidas a contextos específicos, como bairros ou comunidades (PERRONE et al., 2011).

A escala temporal é importante para que as incertezas das mudanças climáticas possam ser visionadas dentro da análise do nexu. Em longo prazo uma profunda escassez hídrica pode oferecer riscos de fome, epidemias, conflitos armados e deslocamento de grandes contingentes de refugiados ambientais (GIATTI et al., 2016), ao passo que, eventos climáticos em menores proporções também impactam o nexu como um todo e as populações.

De acordo com Hales et al. (2004), um desastre, como uma inundação ou um deslizamento de terra, frequentemente, tem sua magnitude de dano inicial de forma aguda e imediata, atingindo dezenas ou centenas de pessoas em um raio de alcance delimitado pela extensão espacial do evento. Porém, com o decorrer do tempo, esses mesmos tipos de eventos podem ter suas consequências muito ampliadas em escalas temporais e espaciais, como na ocorrência de epidemias que se alastram e prolongam os efeitos negativos do evento. Assim, determinados eventos climáticos podem se ampliar e se agravar ampliando o número de possíveis atingidos e diversificando a possibilidade de danos de acordo como ocorrem interações com outros elementos de uma vulnerabilidade multidimensional, que envolve questões territoriais, pobreza, escassez de recursos.

O essencial no estudo do nexu, é que ele seja considerado como um sistema aberto e auto-organizável (BERTALANFFY, 1975), pois só assim, será possível analisa-lo a partir das interdependências dos subsistemas que o compõem, que perpassam por diferentes níveis organizacionais.

## 2.2 - RELAÇÃO HOMEM-NATUREZA

Os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico, até que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na apropriação dos recursos naturais (ROSS, 2010).

As alterações dos sistemas ambientais naturais acompanham a história do Homem na Terra e estão intrinsecamente relacionadas à evolução dos modos de produção, conseqüentemente às relações sociais de produção, visto que é por intermédio do trabalho que a relação entre sociedade e natureza se institui.

De acordo com Caseti (1991), a utilização espontânea da natureza esboçou-se nas primeiras etapas da história da sociedade e se acentuou na época feudal, porém, alcançou um grau máximo no curso da sociedade capitalista.

A Revolução Industrial na Inglaterra, a partir de meados do século XVIII influenciou as dinâmicas ambiental, social e econômica do mundo todo em função das mudanças de cunho tecnológico que ocasionou nos processos produtivos. O crescimento econômico trouxe consigo o trabalhador assalariado e o surgimento da sociedade do consumo, a intensificação da migração do campo para cidade e o conseqüente crescimento das populações urbanas, acarretando profundas modificações no ambiente.

Mudanças climáticas, intensificação do efeito estufa, formação de ilhas de calor, secas, inundações, tempestades (tornados, ciclones, furacões) e inúmeras outras alterações que decorrem de mudanças ambientais no planeta se configuram resquícios desse processo de industrialização (FRANÇA Jr. e VILLA, 2011). Ressalta-se que estes fenômenos fazem parte da dinâmica natural da Terra, no entanto, verifica-se que nos últimos tempos esses eventos têm ocorrido com maior frequência e em intervalos de tempo menores.

Tempo e clima apresentam variabilidade natural ao longo da história da Terra. O tempo atmosférico é extremamente variável, o que pode ser evidenciado através de mudanças diurnas ou sazonais. Existem evidências de flutuações ou variações no próprio clima, que podem ocorrer de forma a provocar uma mudança do tipo de clima predominante sobre determinada área. Por tempo compreende-se o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo em determinado lugar. Por outro lado, clima é a síntese do tempo num dado lugar durante um período de aproximadamente 30-35 anos. O clima, portanto, refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período. O clima abrange um maior número de dados do que as condições médias do tempo numa determinada área. Ele inclui considerações dos desvios em relação às médias (isto é, variabilidade), condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo. Desta forma, o clima apresenta uma generalização, enquanto o tempo lida com eventos específicos (AYOADE, 1996).

O Homem e o clima possuem estrita relação, influenciando-se mutuamente. O clima sempre influenciou a dinâmica e organização das sociedades, as vestimentas, a tipologia das construções, a produção de alimentos, ao passo que, o desenvolvimento

das sociedades ao longo da história também tem induzido mudanças no clima em diversas escalas do globo.

De acordo com Ayoade (1996), as principais bases da vida estão na dependência do clima. Assim, o ar que respiramos é obtido da atmosfera, a água que bebemos origina-se da precipitação e o nosso alimento tem origem na fotossíntese – um processo que se torna possível por causa da radiação, do dióxido de carbono e da umidade, e todos são atributos do clima.

Um fator de grande ameaça à permanência da vida na Terra, são as mudanças climáticas, classificadas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013), como qualquer mudança do clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana.

O IPCC utiliza modelos climáticos para projetar cenários positivos e/ou adversos do futuro do clima, considerando as emissões globais de Gases do Efeito Estufa (GEE). Os resultados têm gerado muitas inquietações no mundo científico, e tem influenciado o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao entendimento das alterações do clima e seus impactos, no intuito de alcançar estratégias de adaptação e demais meios que possibilitem a sustentabilidade da vida na Terra e das atividades humanas face essas mudanças.

As ferramentas comumente adotadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras são os Modelos Globais Atmosféricos (GCM) e os Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCM). Estes modelos numéricos provêm de uma visão tridimensional do sistema climático, descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retroalimentação (feedbacks) entre os processos físicos. Estes modelos podem simular climas futuros em nível global e regional como resposta a mudanças na concentração de GEE e de aerossóis. Um aumento na concentração de GEE ocasiona o aquecimento do planeta, ao passo que os aerossóis têm um efeito de resfriamento. O clima regional e global pode mudar com o desmatamento e outras atividades associadas ao uso da terra, como a agricultura e a construção de grandes cidades (MARENGO e VALVERDE, 2007).

Cenários de mudanças climáticas apontam para uma mudança de temperatura média acima de 2°C, que incluem grandes desequilíbrios em ecossistemas fundamentais

para a sobrevivência da humanidade. A medida que o Planeta aquece, os padrões de chuva e temperatura mudam e eventos climáticos extremos como secas, chuvas intensas, que podem gerar inundações, ondas de frio e de calor se tornam mais frequentes (PBMC, 2014).

No Brasil, as alterações do clima devem gerar mudanças nos regimes de precipitação e aumento de temperatura em algumas regiões, o que influenciará a ocorrência de eventos extremos. Tais alterações terão papel relevante no ciclo hidrológico e na quantidade e qualidade da água, podendo promover inúmeras mudanças na disponibilidade de água e na saúde da população humana. De acordo com o PBMC (2014), junto com a mudança dos padrões anuais de chuva, ou mesmo onde não houver alteração do total anual, deverão ocorrer intensificações dos eventos severos. Poderá ocorrer aumento de eventos extremos, principalmente de chuvas, nas grandes cidades brasileiras vulneráveis às mudanças climáticas como São Paulo e Rio de Janeiro.

Após o reconhecimento crescente da forma como as mudanças climáticas atingem as sociedades e que afetarão o futuro em escala de algumas décadas, governos estão se preparando para lidar com essas mudanças. No Brasil, tal articulação tem envolvido os Governos Federal e Estaduais com a criação de políticas de mudanças climáticas. De modo a gerar e disseminar o conhecimento necessário para que o país possa responder aos desafios representados pelas mudanças climáticas globais e seus efeitos na economia, meio ambiente e sociedade, o MCT criou a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) ao final de 2007, e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Mudanças Climáticas – INCT-MC (NOBRE, 2011).

### 2.3 - RECURSOS HÍDRICOS

O crescimento populacional tende a gerar maior pressão sobre os recursos hídricos, podendo comprometê-los, pois deve aumentar as demandas por água e suas atividades correlatas. Este aumento da demanda deve ser contemplado a luz de uma oferta equitativa de água. Neste sentido, reflete-se sobre a necessidade de controle do uso dos recursos e a importância da gestão dos mesmos, apontada por Hardin (1968), para que estes, não venham a entrar em colapso. Para o referido autor, o uso intensivo dos recursos naturais pelo indivíduo e/ou pelo coletivo sem restrições e sem custos para

os usuários, tende a sobre explorá-los, e, conseqüentemente, ocasionar a escassez desses recursos.

Os recursos hídricos são limitados e têm um papel significativo no desenvolvimento econômico e social de uma região. O crescimento populacional e econômico no século XX levou a se explorar de forma predatória os recursos naturais, em geral, e os recursos hídricos em particular (TUCCI et al., 2001).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.437/97) define a água como um bem de domínio público; um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, que em situação de escassez, o seu uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais. Denominam-se recursos hídricos as fontes de água disponíveis ou parcialmente disponíveis em quantidade e qualidade suficientes, em um lugar e em um período de tempo apropriados para abastecer uma dada demanda (RODRIGUEZ, 2015). Uso do recurso hídrico é qualquer atividade humana que, de algum modo, altere as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas, sendo classificado em: usos consuntivos (parte da água captada é consumida no processo produtivo, não retornando ao curso de água) e não consuntivos, considerando a existência ou não de derivação das águas de seu curso natural para tornar possível o seu uso e o fato de que o retorno das águas é sempre com menor vazão ou com alteração na sua qualidade (ANA, 2013).

De acordo com a ANA (2013), a demanda de água corresponde à vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos (demanda urbana, rural, de criação de animal, industrial e de irrigação). Parcela desta água captada é devolvida ao ambiente após o uso, denominada vazão de retorno (obtida a partir da vazão de retirada, multiplicando esta por um coeficiente de retorno característico de cada tipo de uso). A água não devolvida, ou vazão de consumo, é calculada pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

No rol dos usos não consuntivos destacam-se no cenário nacional a geração de hidroeletricidade e a navegação. O Brasil possui 1.064 empreendimentos hidrelétricos, sendo 407 centrais de geração hidrelétrica (CGH), 452 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e 205 usinas hidrelétricas (UHE). O Plano Decenal de Expansão de Energia - PDEE 2021 indica que a capacidade de geração hidráulica aumentará de 84 GW para 117 GW entre 2012 e 2021(ANA, 2013).

O Brasil, com 14% da água do Planeta, possui, entretanto, uma distribuição geograficamente desigual do volume e disponibilidade de recursos hídricos - enquanto um habitante do Amazonas tem 700.000 m<sup>3</sup> de água por ano disponível, um habitante da Região Metropolitana de São Paulo tem 280 m<sup>3</sup> por ano disponível (TUNDISI, 2008). De acordo com Tucci et al. (2001), os recursos hídricos superficiais existentes no Brasil representam 50% do total da América do Sul. A Amazônia brasileira representa 71% da vazão gerada no Brasil, concebendo 36,6 % na América do Sul e 8% em nível mundial.

De acordo com a Constituição Federal (1988), as águas brasileiras pertencem ao domínio da União e dos Estados. Neste sentido, caracteriza como águas federais os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio ou que banhem mais de um Estado da federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais. As águas de domínio estadual, sejam elas superficiais, subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, são aquelas que se encontram dentro dos limites políticos dos estados. O tipo de domínio das águas indica a quem caberá à responsabilidade pela gestão hídrica.

Pela Lei Federal nº 9.433/97, os usos que estão sujeitos a controle da administração pública são os passíveis de outorga: derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo. Além desses, também são passíveis: lançamento em corpo d'água de esgotos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamentos dos potenciais hidrelétricos e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água (TUCCI et al., 2011).

O início da preocupação legal com a utilização das águas data de 1934, com o Código de Águas (Decreto nº 24.643), que enfatizava o aproveitamento hidráulico, que à época, representava uma condicionante do processo industrial; e trazia normas que submetiam o uso do recurso ao controle institucional, empregando o conceito de outorga de direito de uso, ao colocar que a ninguém é lícito contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros (LIMA, 2007).

Alterações no regime pluviométrico podem interferir na disponibilidade hídrica em várias regiões do mundo, tornando vulneráveis não somente os ecossistemas

aquáticos e terrestres, mas a sociedade humana em diversos aspectos, sobretudo, com relação às atividades econômicas, tais como a agricultura, a pesca, a pecuária e a geração de hidro- energia. A vulnerabilidade dos recursos hídricos está fortemente relacionada com essas alterações. Entendendo-se a vulnerabilidade como o grau em que um sistema, componente ou subsistema é propenso a experimentar danos devido à exposição a um risco, a uma perturbação ou estresse (TURNER et al., 2003).

Deste modo, a gestão da água deve ter como objetivo principal solucionar os problemas concernentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos. A gestão preventiva dos recursos hídricos, voltada ao planejamento, busca resolver as possíveis situações de conflito e aplicar medidas de controle para que elas não se instalem e acarretem impactos sobre as águas. Tecnicamente esta deveria ser prioridade nos estados Amazônicos em função de seu potencial hídrico que é relevante no contexto global (LIMA, 2007).

Tanto as economias regionais quanto as nacionais dependem da disponibilidade adequada de água para geração de energia, abastecimento público, irrigação e produção de alimentos (ex. agricultura, aquicultura e pesca). Sendo assim, melhorar a gestão dos recursos hídricos integrando os usos múltiplos e alocando de forma flexível a água para os diferentes usuários é uma das formas mais relevantes de desenvolvimento econômico e social, pois melhora a qualidade de vida, promove a geração de empregos e renda e amplia a capacidade de abastecimento de água para usos múltiplos e estímulo à economia (TUNDISI, 2008).

Somlyody e Varis (2006) consideram que o agravamento e a complexidade da crise da água decorrem de problemas reais de disponibilidade e aumento da demanda, e de um processo de gestão ainda setorial e de resposta a crises e problemas sem atitude preditiva e abordagem sistêmica.

Deste modo, a gestão integrada dos recursos hídricos ganha escopo, visto que possibilita a utilização dos mesmos com prejuízo mínimo de consumidores e usuários, tendo em vista a sustentabilidade do recurso. Esta se constitui um desafio da sociedade, na busca do desenvolvimento atrelado à preservação dos recursos naturais. A crise da água é o resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados com questões econômicas e de falta de desenvolvimento (GLEICK, 2000). A problemática dos recursos hídricos não é unicamente uma questão de falta disponibilidade diante do aumento da demanda, mas, fundamentalmente, uma questão relacionada à gestão do

recurso. A gestão dos recursos hídricos deve considerar as projeções de mudanças climáticas e suas incertezas na implementação de políticas públicas e seus marcos regulatórios. O conhecimento sobre possíveis cenários climáticos-hidrológicos futuros e as suas incertezas pode ajudar a estimar demandas de água no futuro e, também, a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água (TUNDISI, 2008).

## 2.4 – NEXO ÁGUA-ENERGIA

Países em vias de desenvolvimento como o Brasil têm um papel importante no rol da produção energética, enquanto os países desenvolvidos consomem grande parte da energia produzida globalmente. No cenário projetado para 2050, assim como a água, os BRIICS<sup>1</sup> apresentarão grande contribuição na produção de energia mundial (cerca de 45%), em contrapartida os países da OECD e o resto do mundo contribuirão com cerca de 29% e 26%, respectivamente (MARIANI et al., 2016).

A UNESCO (2014) aponta que aproximadamente 90% da produção de energia elétrica é intensiva no uso da água. A água é utilizada na produção de energia hidroelétrica e térmica. Segundo Mariani et al. (2016), estas duas fontes de energia ainda são essenciais para os sistemas energéticos da maioria dos países, por proporcionarem energia estável ao longo do dia e permitirem armazenamento de sua fonte – água e combustível.

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2012) demonstra os principais usos da água para a geração energética e alguns impactos desta atividade sobre a qualidade da água (Quadro 2).

Quadro 2: Principais usos de água para a geração de energia e os potenciais impactos na qualidade da água.

| USOS              |  | POTENCIAIS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA  |
|-------------------|--|---|
| <b>Óleo e gás</b> | Perfuração, acabamento de poços e da fraturação hidráulica.<br>Injeção para o reservatório secundário e recuperação de óleo aprimorada.<br>Mineração de areias petrolíferas e recuperação <i>in situ</i> .<br><i>Upgrading</i> refino para produtos. | Contaminação por rejeitos infiltrados, fluidos de fraturamento, fluxo de retorno ou água produzida (superficial e subterrânea). |
| <b>Carvão</b>     | Corte e supressão de poeira em mineração e transporte.<br>Lavagem para melhorar a qualidade do carvão.<br>Reflorestamento da superfície de áreas de mineração.   | Contaminação por rejeitos infiltrados, drenagem da mina ou da água produzida (superficial e subterrânea).                       |

<sup>1</sup> BRIICS – Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China, África do Sul.

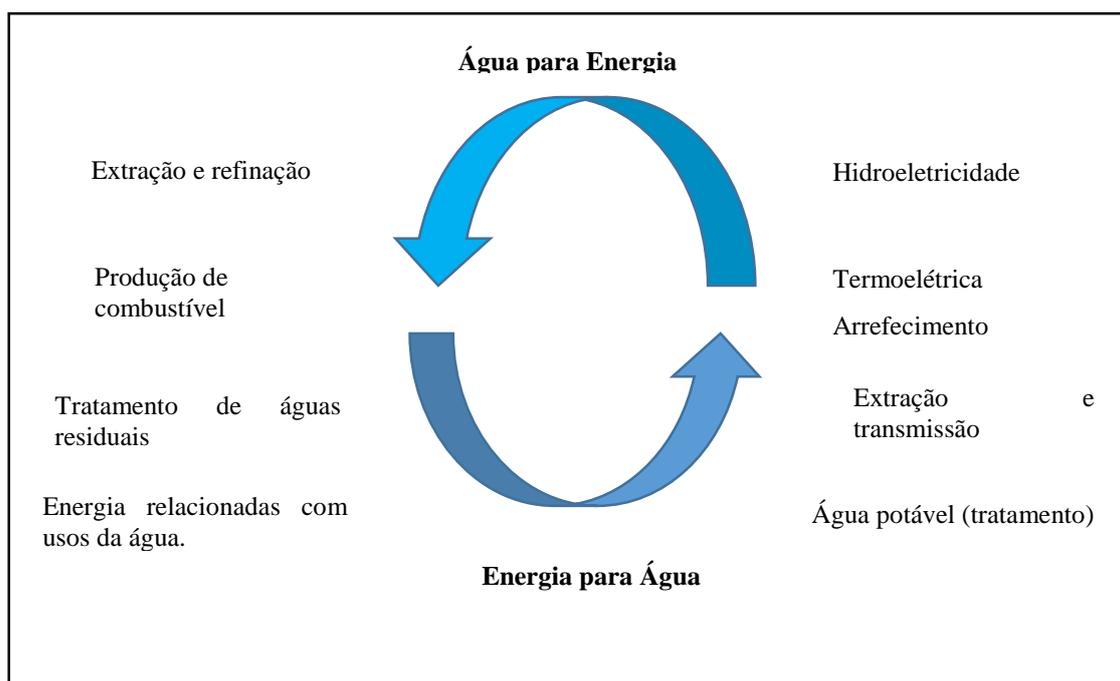
|   |  |  |
|---|--|--|
|   | Transporte de longa distância via lama de carvão.  |  |
| <b>Biocombustíveis</b>                                    | Irrigação para o crescimento dos cultivos agrícolas.<br>Moagem úmida, lavagem e arrefecimento no processo de conversão de combustível.   | Contaminação por escoamento superficial contendo fertilizantes, pesticidas e sedimentos (superficiais e subterrâneos).<br>Efluentes produzidos no refino.  |
| <b>GERAÇÃO DE ENERGIA</b>                                 |  |  |
| <b>Térmica (combustível fóssil, nuclear e bioenergia)</b> | Alimentação de caldeiras, ou seja, a água utilizada para gerar vapor ou água quente.<br>Arrefecimento por vapor condensado.<br>Purificação de poluentes utilizando equipamentos de controle de emissões. | Poluição térmica pela água de descarga do arrefecimento (água de superfície).<br>Impactos nos ecossistemas aquáticos.<br>Emissões atmosféricas que poluem a água na direção do vento (água de superfície).<br>Descarga de purga de caldeiras, ou seja, da alimentação da caldeira que contém sólidos em suspensão. |
| <b>Concentração de energia solar e geotérmica</b>         | Fluidos dos sistemas ou de alimentação da caldeira, ou seja, a água utilizada para gerar vapor ou água quente.<br>Arrefecimento por vapor condensado.  | Poluição térmica por descarga de água do arrefecimento (água de superfície).<br>Impacto nos ecossistemas aquáticos.  |
| <b>Energia hídrica</b>                                    | Geração da eletricidade.<br>Armazenamento em um reservatório (para operar usinas hidrelétricas ou para armazenamento de energia).  | Alteração de temperatura da água, fluxo de volume/tempo e dos ecossistemas aquáticos.<br>Perdas por evaporação do reservatório.  |

Fonte: adaptado de IEA (2012).

Notadamente a hidroeletricidade é o mais conhecido tipo de energia oriundo da água, no entanto, outras fontes de energia se destacam na demanda por este recurso, como é o caso dos biocombustíveis produzidos a partir de grãos (ex. biodiesel de soja, etanol de milho e de cana-de-açúcar). Estes, de acordo com a IEA (2012), são as fontes de energia que mais consomem água.

A relação entre água e energia (Figura 06) se apresenta de várias formas e, principalmente em tríades como água-abastecimento urbano-energia, água-alimento-energia, água-biomassa-energia, água-gestão territorial-energia, devido a interdependência entre ambas, que se torna mais intensa por interferências de crescimento econômico e demográfico, crise energética e mudanças climáticas (DIAS et al., 2014).

Figura 06: Interações entre água e energia.



Fonte: Dias et al. (2014)

Ainda de acordo com Dias et al. (2014), os sistemas de abastecimento de água possuem gastos energéticos significativos, visto que cerca de 80% de seus custos totais estão relacionados com a energia necessária em seus processos.

O processo de abastecimento e tratamento de água consome energia, por demanda-la para bombear água dos rios e poços para a superfície, transportar até uma estação de tratamento, tratar e distribuir à população, além disso, efluentes industriais e esgotos domésticos também precisam ser bombeados para as estações de tratamento, demandando mais energia para esses processos (MARIANI et al., 2016).

A IEA (2012) indica algumas tendências ao aumento da demanda energética no setor hídrico: aumento da demanda como resultado do crescimento da população e melhores padrões de vida; escassez de fontes de água doce nas proximidades de centros urbanos, em função das mudanças climáticas, o que significa que a água deverá ser transportada por distâncias mais longas, bombeada de grandes profundezas ou submetida a tratamentos adicionais; normas mais rigorosas para o tratamento de água; mudanças nas práticas de irrigação de superfície ou inundação, para métodos de bombeamento. Tais fatores evidenciam riscos à segurança hídrica e energética e ao equilíbrio do sistema-nexo (Quadro 3).

Quadro 3: Cenários críticos para o Nexo água-energia.

| INTERRELAÇÕES ENTREÁGUA E ENERGIA   | CENÁRIOS CRÍTICOS  |
|---|--|
| Entre 6 – 18% da procura energética das cidades é consumida no transporte e tratamento de água.   | Cerca de 60% da população mundial viverá em cidades em 2030, o que aumentará fortemente a pressão na utilização de água e energia.   |
| Tecnologias mais sofisticadas para tratamento de águas, requerem consumos energéticos mais elevados.  | A industrialização dos países emergentes aumentará os consumos energéticos nos tratamentos e reutilização de águas. Atualmente já existem muitos países carenciados de água, com elevados níveis de reutilização.  |
| Decréscimos nos níveis de água dos reservatórios, diminuem a capacidade de produção de energia hidroelétrica e de arrefecimento das centrais termoelétricas.                                      | As mudanças climáticas agravam a frequência de ocorrência de períodos de secas em muitas regiões do planeta, que já sofrem atualmente de índices de seca bastante elevados.  |
| Os decréscimos nos níveis dos aquíferos, aumentam os consumos energéticos necessários para bombeamento de água, o que poderá conduzir a outros problemas como por exemplo, subsidência dos solos. | Em algumas bacias hidrográficas assiste-se à sobre-exploração dos aquíferos, há um declínio da qualidade da água e um concomitante aumento nos custos de bombagem.   |
| A produção de eletricidade requer grandes quantidades de água.  | Países de economia emergente, em franca expansão industrial irão agravar substancialmente os consumos de energia e água.   |
| A exploração e produção de energia desperdiçam elevadas quantidades de água.  | A água utilizada na extração de petróleo e gás, volta ao ciclo hidrológico bastante contaminada, o que implica implementação de novas soluções para sua reutilização. Em alguns casos essa água contaminada tem sido injetada a grandes profundidades, onde se evapora, aumentando a indisponibilidade de água nessas zonas. |

Fonte: Gregório e Martins (2011).

Mariani et al. (2016) apontam que fatores climáticos geram impactos sobre a produção de grãos destinada à produção de biocombustíveis com intensa dependência pluviométrica como soja, milho e cana-de-açúcar; aumentos de temperatura podem reduzir a eficiência do uso da água em usinas térmicas com torres de arrefecimento (que utilizam água doce) e potencialmente reduzir a eficiência e produção energética, inviabilizando a planta de produção.

Além disso, há os impactos gerados pela sobreposição dos elementos do nexo, impactando direta ou indiretamente a sociedade, a economia e as políticas governamentais. Tanto a produção energética é passível de gerar impactos sobre os recursos hídricos, quanto a água pode interferir na segurança energética (Quadro 4).

Quadro 4: Riscos e impactos relacionados ao nexo água-energia.

| RISCOS RELACIONADOS À ENERGIA PARA A SEGURANÇA HÍDRICA | IMPACTOS  |   |
|--|---|---|
|  | Acesso limitado ou não confiável à energia a preços acessíveis para extrair água;<br>Realocação de recursos hídricos de usos finais para energia. | Interrupção no fornecimento de água aos usuários finais ou desvio de recursos de outras atividades essenciais como a agricultura;<br>Mudanças no custo de entrega de água |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | devido aos custos flutuantes de insumos energéticos.  |
|   | Contaminação dos recursos hídricos, devido à extração de energia e processos de transformação.   | Recursos hídricos tornam-se inadequados, inclusive para fins de consumo, devido à contaminação, muitas vezes necessitando de tratamento adicional.  |
| <b>RISCOS RELACIONADOS À ÁGUA PARA A SEGURANÇA ENERGÉTICA</b> | Mudanças na disponibilidade e qualidade da água devido a razões naturais ou causadas pelo homem (incluindo restrições regulatórias sobre o uso da água para produção de energia/extração de combustível) | Redução de confiabilidade do fornecimento e dependência de formas mais caras de geração;<br>Possibilidade de fixação de preços pela água e, portanto, custos mais elevados de produção de energia;<br>Redução da disponibilidade de água para as fases de extração e processamento de combustível, levando à redução da produção. |
|   | Aumento na demanda de energia para produção, tratamento e distribuição de água.  | Tensões no sistema de energia e eficiências reduzidas, atendendo aos diferentes perfis de demanda de água e energia.  |

Fonte: adaptado de IRENA (2015).

Nota-se que as pressões energéticas sobre os recursos hídricos podem interferir na disponibilidade de água, comprometendo outras demandas. Tal fato pode ocasionar migrações de populações urbanas e empresas prejudicadas, além disso, crises hídricas e energéticas podem causar aumento de preços de alimentos e produtos em geral, destarte instabilidades políticas podem emergir relacionadas principalmente, à segurança energética e à redução de rendimentos agrícolas (MARIANI et al., 2016).

Neste sentido, essas sinergias devem ser incorporadas as políticas e planos de gestão tendo em vista a minimização dos impactos e prevenção dos riscos associados. É necessário que a gestão ultrapasse os limites dos setores e se dê de modo integrado, água e energia constituem-se sustentáculos importantíssimos a todos os níveis de desenvolvimento e escalas da sociedade.

## 2.5 – NEXO ÁGUA-ALIMENTOS

A água é um recurso valioso, mas sua relativa abundância no Brasil faz com que a sociedade nem sempre lhe atribua valor. As crises de abastecimento levam a sociedade a compreender que a gestão da água se tornou uma prioridade. Questões relacionadas ao risco hídrico, gestão de perdas, reutilização de água e novas legislações estão surgindo e exigem novas soluções para a gestão dos recursos hídricos. Uma forma recente de tratar a questão é o reconhecimento do nexo água-alimentos-energia. O aumento da população

e do consumo per capita vai exigir maior produção de alimentos e muito mais recursos hídricos, já que a agricultura é altamente intensiva em água (CEBDS e GIZ, 2016).

Para Christofidis (2006), o uso da água na obtenção de alimentos vegetais e de origem animal é o mais representativo no mundo. O setor agrícola é responsável pela maior parte do consumo da água doce disponível (80-90 %) (IRENA, 2015).

Água e alimentos são recursos que se encontram ameaçados pelas tendências globais em curso: mudanças climáticas e nos padrões de consumo; aumento da demanda, crescimento populacional; e, competição pelo uso do solo. De acordo com Mariani (2016), estes fatores restringem a habilidade dos sistemas existentes de atender à crescente demanda de maneira confiável e acessível.

No Brasil, existe uma pressão ainda maior sobre os recursos hídricos em decorrência da importância da agricultura para a economia e para todos os países importadores dos alimentos. De acordo com a ANA (2013), este setor é o maior consumidor de água no país, responsável por 72 % da retirada total de água, porém, com perdas de 50%, especialmente devido ao método de irrigação por aspersão, usado em diferentes cultivos.

O segundo setor em volume de consumo de água no Brasil é a pecuária, com 11% do total consumido (CEBDS e GIZ, 2016). A criação de animais exige grande quantidade de água doce para consumo e alimentação. A Constituição Federal do Brasil aponta o consumo animal como uma das demandas prioritárias.

Além da pecuária, outras atividades relacionadas ao setor agrícola também são grandes consumidoras de água no Brasil, tais como os cultivos de cana-de-açúcar e soja, e o processamento de alimentos.

O plantio de cana-de-açúcar constitui-se uma atividade que carece de intenso uso de água, visto que é necessário o fornecimento contínuo de água ao longo de todo o ciclo de produção. A necessidade de água para o cultivo de soja está diretamente relacionada à produtividade da plantação, sendo essencial garantir um fornecimento contínuo do recurso a fim de manter a produção (CEBDS e GIZ, 2016). Ainda de acordo com estes autores, os altos investimentos feitos em grandes culturas refletem a importância da demanda de água para o desenvolvimento pleno e eficaz das plantas, especialmente em períodos de seca e aridez que impedem o seu desenvolvimento, muitas vezes durante períodos onde a água é mais necessária. Para que o rendimento de

soja seja considerável, é importante que durante o ciclo a demanda de 450 a 850 mm de água seja atingida.

As monoculturas, como a soja, são grandes vilões do desmatamento, sendo assim, o aumento da demanda por esses produtos e seus derivados, tende a gerar grandes impactos sobre o meio ambiente e a sociedade de modo geral.

CEBDS e GIZ (2016) apontam ainda que a utilização da água na produção de alimentos ocorre em quatro etapas principais:

- a) Durante a produção primária, que é a atividade que providencia a matéria-prima, como agricultura, pecuária ou produção de laticínios;
- b) Higienização: uma vez na fábrica, existe a necessidade de limpar e desinfetar os ingredientes e todos os produtos que têm contato direto com o alimento;
- c) Resfriamento e aquecimento: são etapas importantes da produção e requerem grandes quantidades de água, podendo esta quantidade variar dependendo das instalações;
- d) Incorporação da água na comida, como parte da receita ou do produto final.

A maior parte da água utilizada na produção de alimentos deve ser potável, uma vez que grande parte é consumida nos processos de preparo e higienização. Em algumas circunstâncias, a indústria alimentícia usa água não potável, como por exemplo, no combate a incêndios e na produção de vapor. Nestes casos, esta deve ser claramente identificada e não pode ser associada ou misturada com a água potável diretamente utilizada na produção dos alimentos.

## 2.6 - SEGURANÇA HÍDRICA E ALIMENTAR

Segundo Christofidis (2006) existiam no mundo cerca de 800 milhões de pessoas em condições de insegurança alimentar, conforme as previsões de crescimento populacional e estimativas vinculadas à produção, conservação e distribuição de alimentos, se a população mundial aumentar para 10 bilhões de habitantes, nos próximos 50 anos, o planeta terá 70% dos habitantes enfrentando deficiências no suprimento de água, repercutindo em cerca de um bilhão e seiscentos milhões de pessoas sem água para obtenção da alimentação básica.

Segurança hídrica e alimentar são focos das principais agendas mundiais. De acordo com Christofidis (2006) há necessidade de mudança de olhar para obter

dimensões que levem à redução das desigualdades socioeconômicas, alcançando a produção dos ecossistemas, do principal elemento de segurança alimentar, que é a água, bem como definir e disseminar dietas alimentares locais, inteligentes, e sustentáveis que, caso sejam assimiladas e praticadas pelas populações, sobrepujem a atual deficiência nutritiva.

No Brasil, estas questões se tornam ainda mais agravantes. A FAO (2015) indica que a fome que subsiste no país é essencialmente uma questão de acesso aos alimentos e não de disponibilidade. O mesmo produz mais que o necessário para atender as demandas alimentares da população, no entanto, não consegue promover a distribuição equitativa destes alimentos. Há no Brasil uma disparidade quanto à acessibilidade aos principais meios de subsistência, fruto da má distribuição de renda.

Tal problemática se constitui um dos principais entraves ao desenvolvimento econômico do país, que não consegue garantir a grande parte da população os direitos básicos, como a segurança alimentar, o que pode se tornar ainda mais agravante com as alterações climáticas.

Segurança alimentar implica na necessidade de produção de alimentos em quantidade e com qualidade, assim como, na possibilidade de acesso da população aos alimentos produzidos (FAO, 2015; CAPORAL e COSTABEBER, 2003) e está intrinsecamente relacionada à segurança hídrica, visto que a má oferta hídrica gera impactos sobre a produção de alimentos, comprometendo a contemplação das demandas.

Grey e Sadoff (2007) apontam a segurança hídrica como a disponibilidade de água em quantidade e qualidade de modo que possa atender todas as demandas da saúde, os meios de subsistência, os ecossistemas e as atividades econômicas.

Neste sentido, fatores de grande ameaça à segurança hídrica e alimentar são as mudanças climáticas. Alterações nos padrões das chuvas ameaçam a segurança dos sistemas hídricos, em função da diminuição da oferta hídrica, pondo em risco seus diversos usos. Além disso, as mudanças climáticas tendem a afetar a agricultura e aquicultura em decorrência do aumento da temperatura e mudanças hidrológicas (FAO, 2015).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS**

#### **3.1. MATERIAIS UTILIZADOS**

##### **3.1.1 – Pesquisa Bibliográfica e Documental**

A pesquisa de literatura nacional e internacional foi realizada com intuito de apreender o que vem sendo discutido acerca da temática analisada no Brasil e no mundo, o que auxiliou a compreensão e construção de conceitos importantes ao desenvolvimento do capítulo teórico. Além disso, realizou-se pesquisa documental à legislação pertinente. Foram consultadas a Lei N° 6.381 de 25 de julho de 2001, que dispõe sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos, a Lei N° 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, as Políticas Nacional e Estadual do Meio Ambiente e a Constituição Federal do Brasil.

##### **3.1.2 – Dados Cartográficos Digitais**

Foi utilizado na caracterização da área de estudo um mapa: correspondente aos domínios e subdomínios hidrogeológicos do Estado, extraído do livro “Geodiversidade do Estado do Pará, publicado pela CPRM (2013)”.

##### **3.1.3 – Dados Secundários: População; Abastecimento Humano e Consumo de Água; Indicadores Sociais e de Saneamento; Produção e Consumo de Energia Elétrica; Produção de Alimentos; Produto Interno Bruto (PIB).**

Foram utilizados dados de abastecimento urbano de água, extraídos do diagnóstico da Agência Nacional de Água – ANA, através do “Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água” (2005 e 2015) (<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>). A aquisição dos dados sobre população, saneamento básico e consumo de água (2013), produção de alimentos e PIB (2012), acesso à rede de esgoto e IDH-M (2010), foi feita no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)) e do Instituto de Desenvolvimento Social e Ambiental do Pará – IDESP (<http://www.idesp.pa.gov.br/index.php>). Os dados acerca da geração e consumo de energia elétrica (2004-2014) foram coletados a partir da Fundação Amazônia de Amparo à Estudos e Pesquisas – FAPESPA (2016) ([www.fapespa.pa.gov.br](http://www.fapespa.pa.gov.br)).

Na ausência de um método específico para o estudo do nexo água-energia-alimentos, alguns procedimentos operacionais foram adotados a fim de se alcançarem os

objetivos propostos na pesquisa. Tais procedimentos são resumidos no quadro abaixo (Quadro 5).

Quadro 5: Procedimentos operacionais utilizados na pesquisa.

| OBJETIVO   | MATERIAIS   | FONTE                           | ATIVIDADES E MÉTODOS   |
|--|---|---------------------------------|--|
| Identificar a demanda por água.  | Dados secundários referentes ao uso e consumo de água no Estado; Indicadores de saneamento básico; Indicadores sociais. | ANA<br>IDESP<br>IBGE<br>FAPESPA | Levantamento; análise conjunta dos indicadores sociais e de saneamento básico; Espacialização dos usos e do consumo de água.   |
| Analisar a relação entre geração e consumo de energia.                           | Dados secundários sobre produção energética, consumo e consumidores no Estado.  | ANA<br>IBGE<br>ANEEL<br>FAPESPA | Levantamento e análise dos dados; Classificação dos municípios produtores e do mercado consumidor de energia.  |
| Compreender as dinâmicas de produção, distribuição e abastecimento de alimentos. | Dados demográficos do Estado; Dados acerca da produção de alimentos, e demais atividades produtivas; PIB.               | IDESP<br>IBGE<br>FAPESPA        | Levantamento e análise de indicadores agropecuários (fração do PIB estadual referente a produção agropecuária); Espacialização dos municípios com maior expressividade na produção agropecuária. Análise da produção, distribuição e consumo de alimentos. |

## 3.2. MÉTODOS UTILIZADOS

### 3.2.1 – Análise estatística

Para cada unidade observacional do nexos água, energia e alimentos utilizou-se um conjunto de variáveis numéricas de uma base de dados multivariada (Tabela 2).

Para a primeira unidade observacional (água), utilizaram-se as variáveis para mensurar o grau de consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) e o acesso das populações aos sistemas de saneamento básico, a fim de se estabelecer relações entres estes e a população por

município e o IDH-M. Para cada variável foi estabelecido o total de municípios atendidos e o percentual correspondente.

Tabela 2: Unidade observacional e variáveis utilizadas na pesquisa.

| <b>Unidade observacional</b> | <b>Variável</b>                          | <b>Fonte</b>        | <b>Período</b> |
|------------------------------|--|---------------------|----------------|
| <b>Água</b>                  | IDH-M                                    | PNUD/IDESP          | 2010           |
|                              | Acesso à rede de esgoto                  | IDESP/FAPESPA       | 2010           |
|                              | Abastecimento de água                    | ANA                 | 2013           |
|                              | Consumo de água (m <sup>3</sup> /ano)    | COSANPA/FAPESP<br>A | 2012/<br>2013  |
|                              | População por município                  | IBGE                | 2014/<br>2015  |
| <b>Energia</b>               | Consumo por município                    | IDESP/FAPESPA       | 2013           |
|                              | Total de municípios atendidos pela CELPA | IDESP/FAPESPA       | 2013           |
|                              | Consumo por categoria                    | IDESP/FAPESPA       | 2013           |
|                              | Consumidores por município               | IDESP/FAPESPA       | 2013           |
|                              | Geração de energia                       | EPE/FAPESPA         | 2014           |
|                              | Consumo total de energia elétrica        | EPE/FAPESPA         | 2014           |
| <b>Produção de alimentos</b> | Produção agrícola                        | IBGE/FAPESPA        | 2012/<br>2013  |
|                              | Agropecuária                             | IBGE/FAPESPA        | 2012/<br>2013  |
|                              | PIB                                      | IDESP/FAPESPA       | 2013           |
|                              | Produtos exportados                      | IBGE/FAPESPA        | 2012/<br>2013  |
|                              | População por município                  | IBGE                | 2014/<br>2015  |

Na segunda unidade observacional (energia) foram utilizados cálculos semelhantes aos da unidade Água para relacionar oferta e demanda de energia, através das variáveis: Geração de energia elétrica; Total de municípios atendidos pela Companhia de Energia Elétrica do Pará - CELPA; Consumo por município e consumo municipal por categoria.

Para a análise da unidade produção de alimentos consideraram-se a produção agrícola e agropecuária por município, o PIB (fração municipal referente a produção agropecuária), o número de habitantes por município e a quantidade de alimentos exportados, a fim de verificar a relação entre oferta e demanda de alimentos no Estado, a partir da relação entre produção e consumo.

### **3.2.2.1 – Classificação das variáveis**

#### **3.2.2.1.1 - Unidade Observacional: Água**

##### **3.2.2.1.1.2- Indicadores de saneamento básico (cobertura por serviços de água e esgoto)**

Os indicadores de saneamento básico, utilizados nesta pesquisa, restringem-se aqueles relativos ao acesso das populações aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário: consumo de água por volume e acesso a rede de esgoto.

Na avaliação da situação em escala municipal, utilizaram-se dados do IBGE (2010) e da COSANPA (2013), publicados no Relatório Estatística Municipal do IDESP (2014). Esta etapa da pesquisa abrangeu 57 municípios, em função da disponibilidade de dados referentes as variáveis em estudo. Foram selecionados apenas os municípios que possuem cobertura de serviços de água e esgoto fornecidos pela COSANPA, em decorrência da dificuldade de acesso a dados referentes aos municípios atendidos por sistemas municipais e/ou empresas terceirizadas.

Os 57 municípios foram divididos em três classes considerando o volume de consumo de água (m<sup>3</sup>/ano): 1ª Classe, até 100 mil m<sup>3</sup>/ano; 2ª Classe, de 100 mil a 1 milhão de m<sup>3</sup>/ano; 3ª Classe, acima de 1 milhão de m<sup>3</sup>/ano. Os mesmos municípios foram classificados considerando o número de domicílios com acesso à rede de esgoto: Classe 1, de 0 a 100 domicílios com acesso; classe 2, de 100 a 1000 domicílios; classe 3, acima de 1000 domicílios.

Inferiu-se o nível de cobertura por serviços de água e esgoto pela razão entre domicílios conectados as redes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e o número total de domicílios particulares permanentes.

#### 3.2.2.1.1.3 - Indicadores sociais - IDH-M

O IDH abrange três dimensões básicas do desenvolvimento humano – longevidade, educação e renda – expressas por diferentes variáveis estatísticas: expectativa de vida ao nascer, alfabetização de adultos, matrículas combinadas nos três níveis de ensino, PIB per capita corrigido pela capacidade de compra (LIBÂNIO et al., 2005).

Na análise comparativa entre desenvolvimento humano e outras variáveis, em nível municipal, utilizaram-se o IDH-M de 2010, disponível no Relatório Estatística Municipal do IDESP (2014).

### 3.2.2.1.2 - Unidade Observacional: Energia

Nesta unidade, optou-se por trabalhar a escala territorial total do estado, em função do acesso aos dados necessários à análise, condizentes a geração e consumo de energia elétrica.

De acordo com Giatti et al. (2016), é possível vislumbrar a questão da escala territorial e a necessidade de se explorar as características de sistemas abertos e de interdependências, sobretudo, no que condiz aos sistemas de produção de energia, que normalmente dialogam com diversas áreas, não se restringindo aos limites do local onde é gerada.

Os dados acerca da geração e consumo de energia foram classificados a partir da FAPESPA (2016), que os trabalhou para estimar as perdas de arrecadação do ICMS de energia elétrica no estado do Pará entre 2004 e 2014. Além disso, foram analisados os consumidores e o consumo de energia elétrica municipal por categoria em 2013, assim como, os municípios atendidos pela rede CELPA.

### 3.2.2.1.3 - Unidade Observacional: Produção de alimentos

Nesta unidade foram considerados os dados referentes a produção agrícola e agropecuária dos municípios e do estado, assim como, os de exportação de produtos e o PIB (fração referente a produção agropecuária municipal), todos fornecidos pelo IBGE (2010) através da Estatística Municipal do IDESP (2014) e da FAPESPA (2015).

A classificação das variáveis ocorreu com base no trabalho de Endo et al. (2015) que propôs a utilização de “Métodos integrados” para o estudo do nexos. Segundo esses autores, para cada dimensão do nexos há um conjunto de indicadores e variáveis específicas, identificadas com base no Índice de Governança Mundial (WGI), no Índice de Desenvolvimento Mundial (WDI), no Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Quadro 6).

Quadro 6: Alguns indicadores e variáveis selecionados para análise do nexos.

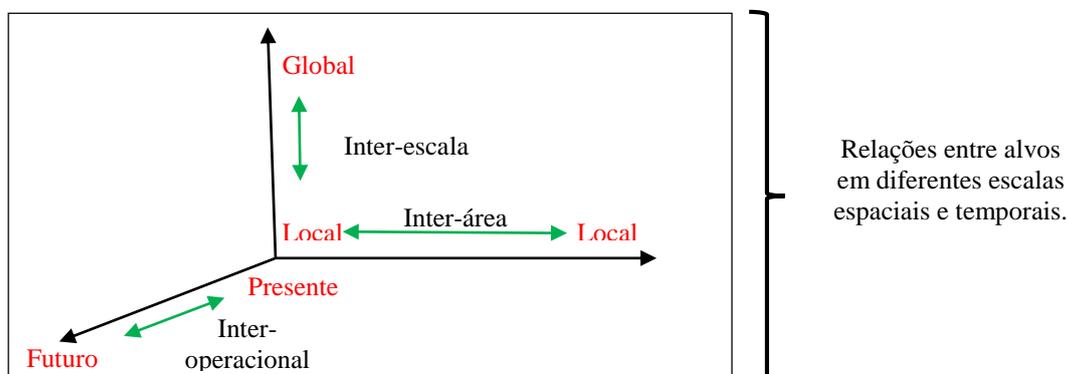
| COMPONENTE | INDICADORES                    | VARIÁVEIS   | VALORES EXPERIMENTAIS                              |
|------------|--------------------------------|---|--|
| SOCIAL     | Taxas de suficiência alimentar | % de proteínas provenientes de pescados           | Total de proteínas necessário em dieta individual. |
|            |                                | % da taxa de proteínas necessárias                | Necessidade total de proteínas por indivíduo.      |
|            | Taxa de suficiência de água    | % da taxa da demanda de água fornecida localmente | % da demanda final fornecida, por usuário.         |

|  |                       |  |   |
|--|-----------------------|--|---|
|  | Estado de saúde       | % das taxas de mortalidade de adultos, mulheres e crianças | Principais causas de mortalidade.   |
|  |                       | % de ocorrência de doenças transmitidas pela água          | % da população de crianças e mulheres afetadas por doenças de veiculação hídrica. |
|  | Mudanças na população | % da taxa de crescimento populacional                      | Taxa de crescimento nacional anual.   |
|  |                       | % da taxa de densidade demográfica                         | Limite padrão de densidade populacional.  |

Fonte: Endo et al. (2015).

Métodos integrados servem para sintetizar informações recolhidas de modo individual em diferentes temas e disciplinas, são necessários para unir ideias e ações de partes interessadas de diferentes setores, tendo em conta escalas temporais e espaciais distintas (ENDO et al., 2015), por exemplo, o setor energético opera em escala espacial diferente do setor alimentar.

Importa também que se considerem como os eventos atuais são susceptíveis de gerar futuros impactos aos recursos e usuários dos mesmos, em uma escala temporal (Figura 07).



Fonte: adaptado de Endo et al. (2015).

As dimensões gerais para análise da segurança humana-ambiental dentro das interconexões de água-alimento-energia consistem em componentes sociais, ambientais, econômicas, de governança e de risco. A maioria dos quadros globais desenvolvidos para analisar conjuntamente os três sistemas não se destinam a ser utilizados em nível regional ou local, pois não incorporam escalas temporais e espaciais adequadas, por este motivo, estudar as interações ao invés de cada sistema é valioso para a tomada de decisões (ENDO et al., 2015).

Para Strasser et al. (2016), a abordagem nexos permite um diálogo multi-setorial que é, em princípio, mais amplo que o diálogo promovido com GIRH e que tem como

objetivo discutir as sinergias além do domínio do gerenciamento da água e além da escala da bacia hidrográfica. Indicam ainda que, apesar da natureza multicêntrica do nexo e sua aplicabilidade em diferentes escalas, a água assume, neste contexto, uma importância inegável sobre os outros recursos, por este motivo a metodologia proposta enfatiza como o ponto de partida para análise do nexo. Desde que o nexo emergiu como uma abordagem enraizada nos conceitos de água, energia e segurança alimentar, por natureza, ele ultrapassa os limites da GIRH, possibilitando a coordenação multi-setorial e a integração.

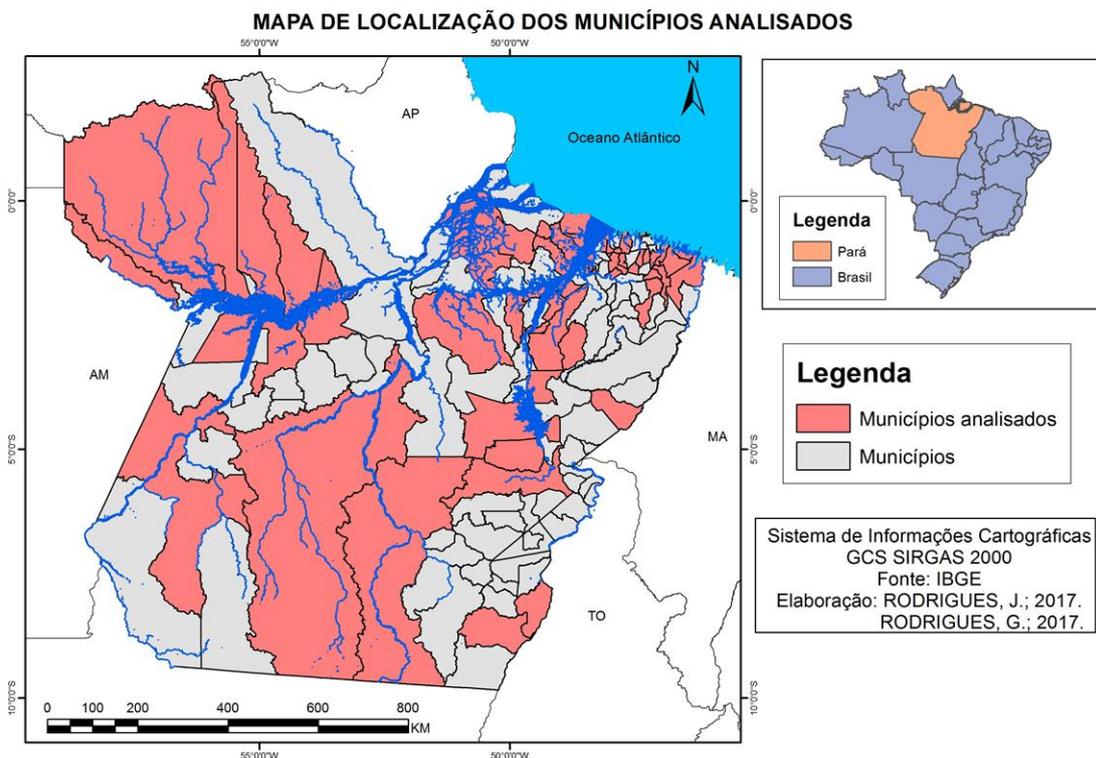
#### **4. RESULTADOS**

##### **4.1– Análise conjunta dos indicadores sociais e de saneamento (acesso à água e esgoto) nos municípios paraenses.**

O estado do Pará possui disponibilidade hídrica elevada, tanto superficial quanto subterrânea, no entanto, grande parte dos municípios não é atendida pelos sistemas de abastecimento de água de modo satisfatório. A Companhia de Água e Saneamento do Pará – COSANPA presta serviços de abastecimento a 41% dos municípios, os demais sistemas são operados por serviços municipais ou possuem outras fontes de abastecimento (ANA, 2010).

Para esta análise considerou-se uma amostra de 57 municípios que reúnem 62% da população do Estado, representam 40% do total de municípios paraenses, e uma área de aproximadamente 493.982 km<sup>2</sup>. Esses municípios foram selecionados em função da disponibilidade de dados correspondentes às variáveis em estudo, em escala temporal mais recente (Figura 08).

Figura 08: Localização dos municípios estudados.

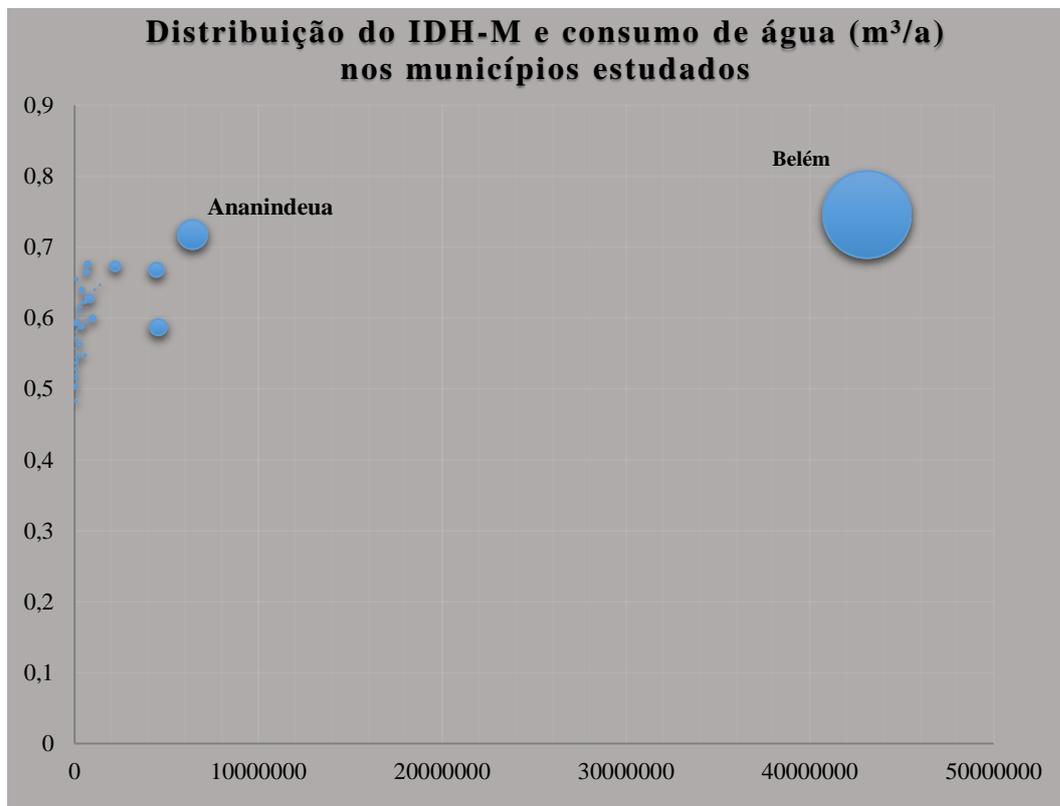


Tendo em vistas as demandas: residencial, comercial, pública e industrial, o consumo total de água dos municípios paraenses em 2013 estava em torno de 77.278.257 m<sup>3</sup>. Assim, torna-se importante frisar que quando se trata da demanda há que se considerar, além do crescimento demográfico, o processo de inclusão social e elevação de renda, que tendem a influenciar a elevação do consumo de água (GIATTI et al., 2016).

A figura 09 apresenta os municípios utilizados para a análise do abastecimento público de água, suas respectivas populações (IBGE, 2015), IDH (PNUD, 2010) e consumo de água em m<sup>3</sup>/ano (COSANPA, 2013).

Há uma relação linear entre a elevação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) e o respectivo aumento no consumo de água. Considerando-se os municípios mais populosos do Estado, Belém e Ananindeua se destacam nas duas variáveis, apresentando maior IDH-M e consumo. O município de Belém, com 1.432.844 milhões de habitantes, registra um consumo de 43.110.404 m<sup>3</sup>/ano (FAPESPA, 2013).

Figura 09: Relação entre IDH-M, população e consumo de água (m<sup>3</sup>/ano). Fonte: IDESP (2010); FAPESPA (2013).



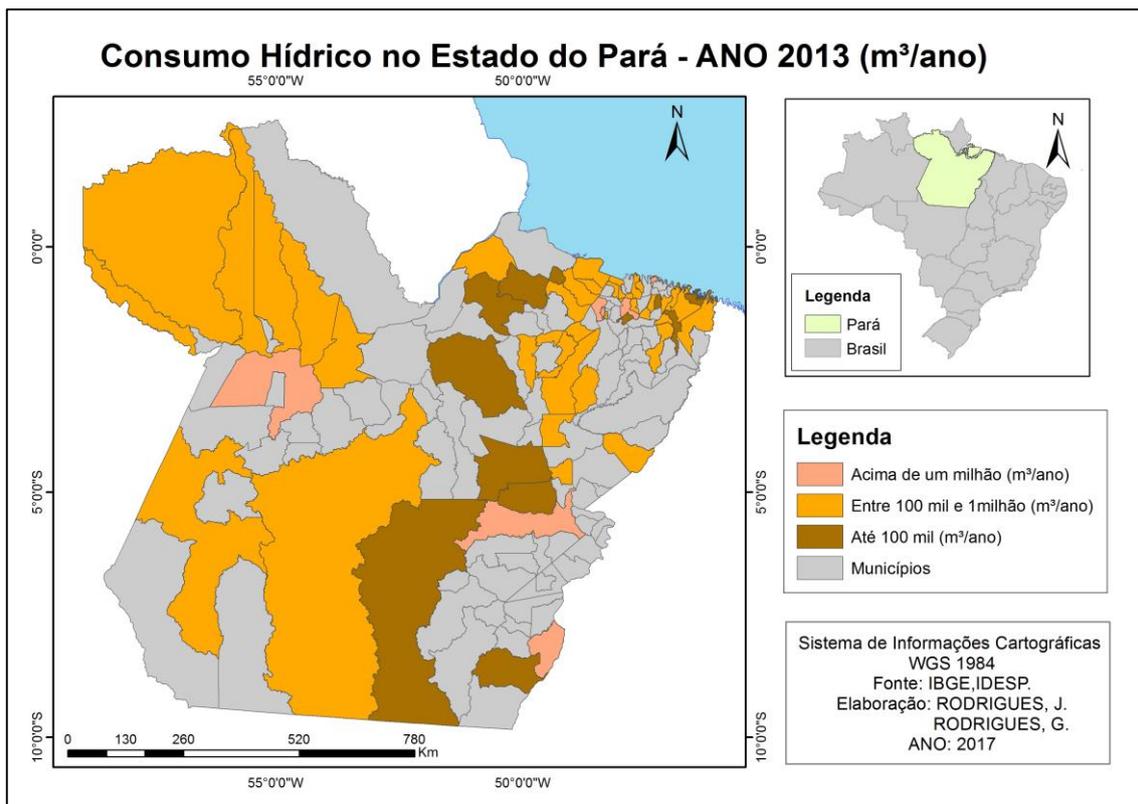
\*O tamanho das bolhas é proporcional as populações dos municípios.

\*\* A maior bolha corresponde ao município de Belém e a menor bolha representa o município de Faro, que possui 7.504 habitantes.

A maior parte dos municípios consome entre 100 mil e 1 milhão de m<sup>3</sup>/ano (Figura 10). Nos municípios de Ananindeua, Belém, Castanhal, Conceição do Araguaia, Marabá, Salinópolis e Santarém, o consumo é maior. Estes consumiram mais de 1.000.000 m<sup>3</sup> de água no ano analisado (FAPESPA, 2016).

Estes municípios concentram uma elevada população e boa parte das atividades econômicas do Estado. Nestes, é notório o predomínio de atividades de serviços, agropecuárias e industriais que são grandes consumidoras de água. Essas atividades são responsáveis pelo aumento da demanda por recursos hídricos, causando maior pressão sobre estes, em termos quantitativos e qualitativos.

Figura 10: Consumo de água por município (2013).



Trinta e oito dos municípios analisados encontram-se numa faixa mediana, consumindo entre 100.000 e 1.000.000 de m<sup>3</sup> de água (Quadro 7). São municípios que possuem grande parte das atividades econômicas voltadas ao setor de serviços. Nos municípios de Anajás, Augusto Corrêa, Breves, Inhangapi, Itupiranga, Novo Repartimento, Peixe-Boi, Portel, Santa Cruz do Arari, Santa Luzia do Pará, Santa Maria das Barreiras e São Felix do Xingu foram constatados os menores volumes de consumos.

Quadro 7: Consumo anual de água por município (2013).

| Variável                                    | Classes                  | Municípios  | Número de municípios (%) |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| Consumo anual de água (m <sup>3</sup> /ano) | Até 100 mil              | Anajás; Augusto Corrêa; Breves; Inhangapi; Itupiranga; Peixe-Boi; Portel; Novo Repartimento; Santa Cruz do Arari; Santa Luzia do Pará; Santa Maria das Barreiras; São Felix do Xingu.                       | 21                       |
|   | Entre 100 mil e 1 milhão | Abaetetuba; Afuá; Alenquer; Altamira; Bragança; Breu Branco; Cachoeira do Arari; Capanema; Capitão Poço; Dom Eliseu; Faro; Igarapé-Miri; Itaituba; Jacundá; Limoeiro do Ajuru; Magalhães Barata; Marapanim; | 67                       |

|  |                   |   |    |
|--|-------------------|---|----|
|  |                   | Marituba; Mocajuba; Moju; Monte Alegre; Nova Timboteua; Óbidos; Oeiras do Pará; Oriximiná; Ourem; Ponta de Pedras; Prainha; Salvaterra; Santa Maria do Pará; São Caetano de Odivelas; São Francisco do Pará; Soure; Tailândia; Terra Santa; Tracuateua; Vigia; Viseu. |    |
|  | Acima de 1 milhão | Ananindeua; Belém; Castanhal; Conceição do Araguaia; Marabá; Salinópolis; Santarém  | 12 |

Fonte: CONSANPA (2013); FAPESPA(2016).

Verificou-se na amostra estudada, que a cobertura por sistemas de esgotamento sanitário e pluvial é muito pequena, o que gera danos sociais e ambientais, que se refletem no IDH-M.

Há uma estrita relação entre os serviços de saneamento e os indicadores sociais, sobretudo, de saúde pública. De acordo com Libânio et al. (2005), no Brasil as péssimas condições sanitárias verificadas em muitas bacias hidrográficas densamente e desordenadamente ocupadas, resultam na degradação generalizada dos elementos naturais. Para estes autores, a contaminação das águas representa um dos principais riscos à saúde pública, sendo amplamente conhecida essa estreita relação entre a qualidade da água e inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento.

No estado do Pará este fator se evidencia claramente. Dos 144 municípios do estado, apenas 40% possui cobertura de serviços prestados pela COSANPA (Figuras 11, 12 e 13), os 60% restantes, são cobertos por sistemas municipais, que operam em muitos casos, em condições precárias. Se o acesso à água que é direito básico do cidadão é ínfimo na maioria dos municípios, o acesso aos sistemas de esgotamento sanitário é uma realidade ainda mais preocupante.

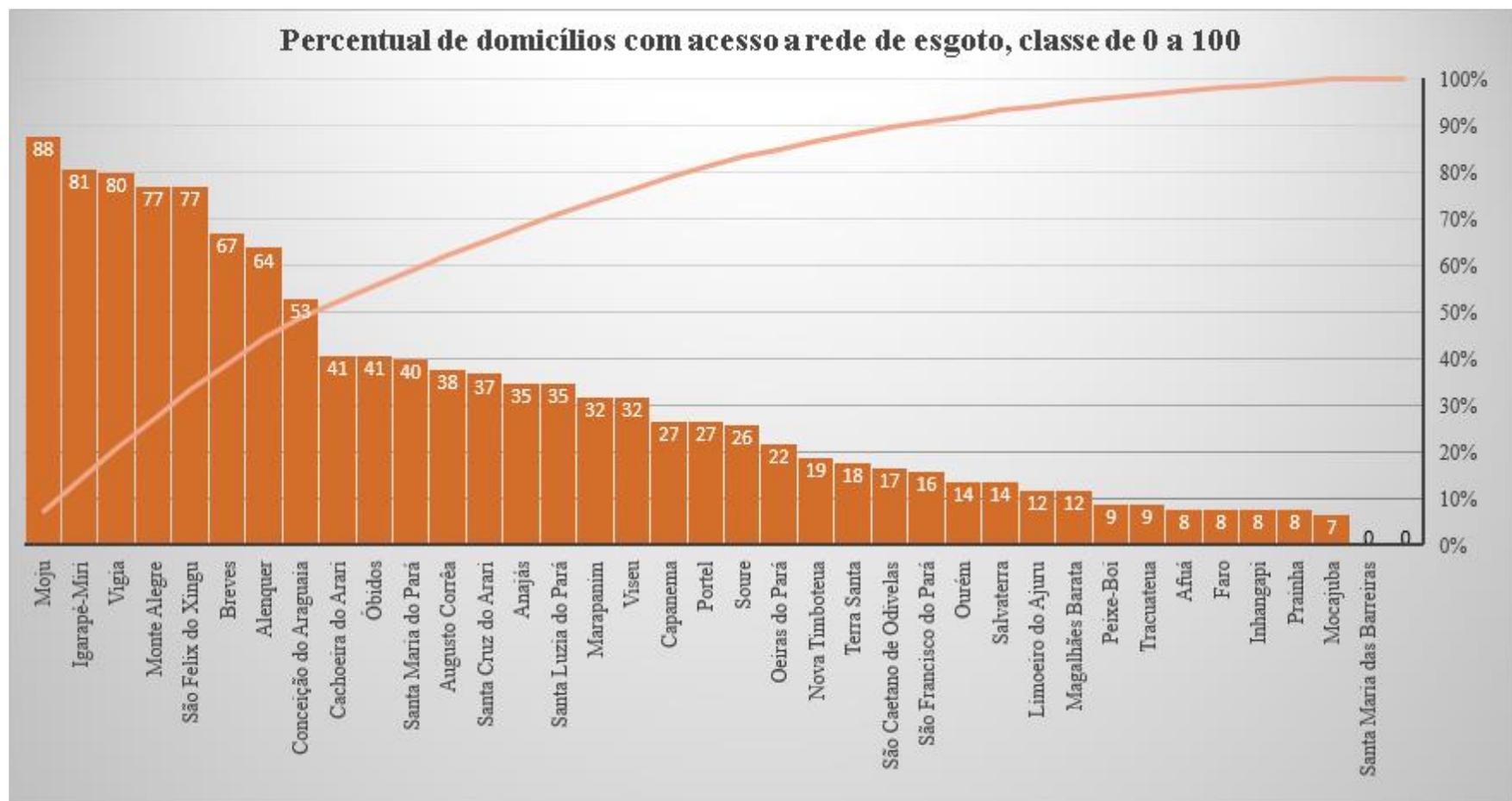


Figura 11: Domicílios com acesso à rede de esgoto por município.

Fonte: IBGE (2010).

Figura 12: Domicílios com acesso à rede de esgoto por município



Fonte: IBGE (2010).

Figura 13: Domicílios com acesso à rede de esgoto por município



Fonte: IBGE (2010).

Identificou-se na amostra estudada que 65% dos municípios se encontram na faixa de 100 domicílios com acesso à rede de esgoto, 21% na faixa entre 100 e 1000 domicílios e apenas 14% possuíam até 1000 dos seus domicílios com acesso à rede. 54 municípios apresentavam IDH-M médio, entre 0,5 e 0,8 e 3 municípios foram considerados com IDH-M baixo, de 0 a 0,5, de acordo com a classificação do PNUD<sup>2</sup>.

O saneamento básico é feito com vistas a garantir a saúde, a segurança e o bem-estar da população, evitando as ameaças decorrentes da presença de contaminantes,

<sup>2</sup> O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento classifica o desenvolvimento humano em um país, numa escala de 0 a 1. Os valores mais próximos a unidade, são indicativos de maior bem-estar social. No caso da presente análise, utilizou-se uma adaptação da metodologia para a escala municipal.

dejetos, resíduos, patógenos ou substâncias tóxicas em geral. Para que o saneamento cumpra sua função é necessário considerar a qualidade das redes e dos serviços oferecidos à população e que repercutem no nível de eficiência e de resposta à demanda existente nesse setor (GUERRA, 2010).

#### **4.2 - Avaliação da geração e consumo de energia hidroelétrica no estado do Pará**

De acordo com a FAPESPA (2016), em 2014 o estado gerou 41.951 GWh (7,1% de participação do total de energia gerada no Brasil), ocupando a quinta posição no ranking de produção. Já no consumo (18.406 GWh), o estado correspondeu com 3,88% do total de energia utilizada, alcançando a oitava posição. No que tange à composição e expansão, o estado possui um perfil de consumo de energia diferenciado dentro dos padrões da média nacional. Em 2014, o consumo de energia residencial no total do Estado foi de 17,39% (2,42% no consumo residencial nacional), os maiores percentuais da série 2004-2014. Nesse período, em média, a participação no total do Estado foi de 14,27% (nacional, 2,13%).

As barragens durante muito tempo foram utilizadas para irrigação, controlar o rio, pescar e dessedentar humanos e animais. Diante da necessidade de energia elétrica, a humanidade descobriu, há quase dois séculos, a possibilidade de gerar energia elétrica através da construção de barramentos. O Brasil conta com um dos maiores parques hidrelétricos do mundo, dispondo de um potencial de 150 milhões de quilowatts (SILVA, 2014) Além disso, possui um total de 2.766 empreendimentos em operação, que geram 122.315.019 kW de potência (ANEEL, 2016).

Nesse contexto, a Amazônia brasileira se destaca por possuir um grande potencial para geração hidrelétrica, graças ao seu elevado aporte hídrico e às quedas topográficas significativas nos afluentes do Rio Amazonas, quando esses descem a partir do Escudos Brasileiro ou Guianense (FEARNSIDE, 2015).

Destarte, o estado do Pará emerge como um espaço estratégico para a garantia da sustentabilidade econômica nacional, por ser detentor da maior parte da capacidade de expansão da produção de energia elétrica a partir da hidroeletricidade. De acordo com Fearnside (2015), no ano de 2014 havia no estado duas hidrelétricas em funcionamento (Tabela 3) e 14 projetadas para entrar em funcionamento até 2020 (Tabela 4).

Tabela 3: Usinas Hidroelétricas em funcionamento no estado do Pará.

| Ano de enchimento | Nome      | Rio       | Capacidade Instalada (MW) | Área do reservatório (Km <sup>2</sup> ) |
|-------------------|-----------|-----------|---------------------------|---|
| 1977              | Curuá-Una | Curuá-Una | 100                       | 78 (para os 40 MW iniciais)             |
| 1984              | Tucuruí   | Tocantins | 8.370                     | 2.850                                   |

Fonte: Fearnside (2015).

Segundo Silva (2014), à medida que melhora a qualidade de vida das pessoas, aumenta o consumo de água, pois se tem hábitos de higiene mais intensos, maior número de eletrodomésticos (máquinas de lavar roupa, pratos, etc.) e, conseqüentemente, o aumento do consumo de energia elétrica. Essa elevação do consumo de água e de energia elétrica justifica o crescimento do número de usinas hidrelétricas no Brasil.

Tabela 4: Barragens planejadas ou em construção.

| Nome                               | Rio         | Capacidade Instalada (MW) | Área do reservatório (Km <sup>2</sup> ) | Situação                    | Ano previsto para conclusão |
|------------------------------------|-------------|---------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Babaquara                          | Xingu       | 6.300                     | 6.140                                   | Oficialmente não mencionado |                             |
| São Manoel                         | Teles Pires | 700                       | Não informado                           | Em construção               | 2018                        |
| Teles Pires                        | Teles Pires | 1.820                     | Não informado                           |                             | 2015                        |
| Belo Monte                         | Xingu       | 11.233                    | 516                                     | Em construção               | 2016                        |
| Cachoeira do Caí                   | Jamanxim    | 802                       | 420                                     | Planejado                   | 2020                        |
| Cachoeira dos Patos                | Jamanxim    | 528                       | 117                                     | Planejado                   |                             |
| Chacorão                           | Tapajós     | 3.336                     | 616                                     | Oficialmente não mencionado |                             |
| Jamanxim                           | Jamanxim    | 881                       | 75                                      | Planejado                   | 2020                        |
| Jardim de Ouro                     | Jamanxim    | 227                       | 426                                     | Planejado                   |                             |
| Jatobá                             | Tapajós     | 2.336                     | 646                                     | Planejado                   | 2019                        |
| Marabá                             | Tocantins   | 2.160                     | 1.115,40                                | Planejado                   | 2021                        |
| Santa Isabel                       | Araguaia    | 1.080                     | 236                                     | Planejado                   |                             |
| Santo Antônio do Jari (Pará/Amapá) | Jari        | 167                       | 31,7                                    | Licença preliminar          | 2014                        |
| São Luiz do Tapajós                | Tapajós     | 6.133                     | 722                                     | Planejado                   | 2018                        |

Fonte: Fearnside (2015).

### 4.3 - Análise da produção de alimentos

#### 4.3.1- Água e produção agrícola

Uma das bases principais da alimentação humana são produtos da atividade agropecuária. As expectativas mundiais apontam para uma necessidade crescente de produção de alimentos, com uma projeção de crescimento da demanda até 2025, o que representa uma demanda adicional de aproximadamente 780 km<sup>3</sup> de água, isto significa o aumento da demanda de água do setor agrícola (BRITO e ANDRADE, 2010).

Uma das principais fontes de utilização e consumo de água no mundo são as atividades agrícolas, em diversas etapas da produção: cultivo, armazenagem, fabricação de produtos, visto que anualmente a agricultura é responsável por 70 % do uso e 87 % do consumo total de água no mundo (GOELLNER, 2015). De acordo com o referido autor, o uso da água refere-se à retirada da mesma do ambiente para suprir as necessidades humanas e esse termo implica que uma parte do que é aproveitado volta para o ambiente. Já o consumo refere-se à parcela que não retorna de modo direto ao ambiente (ex. água da irrigação).

Neste sentido é importante compreender esse uso e consumo de água pelo setor agrícola. Mekonnen e Hoekstra (2011) estimaram uma pegada hídrica para culturas primárias utilizando uma média global por tonelada, a que varia entre as diferentes culturas, por categoria de cultivo e por região de produção. Nas tabelas 05 e 06 denota-se a pegada hídrica de algumas culturas.

Tabela 05: Pegada hídrica por grupo de culturas (m<sup>3</sup>/t).

| Grupos de culturas*  | Pegada Hídrica (m <sup>3</sup> /t) |
|----------------------|------------------------------------|
| Culturas açucareiras | 200                                |
| Culturas forrageiras | 253                                |
| Vegetais             | 300                                |
| Raízes e tubérculos  | 400                                |
| Frutas               | 1000                               |
| Cereais              | 1600                               |
| Culturas oleaginosas | 2400                               |

\*Valores aproximados. Fonte: Mekonnen e Hoekstra (2011).

Tabela 06: Pegada hídrica por cultura (m<sup>3</sup>/t).

| Cultura | Pegada Hídrica (m <sup>3</sup> /t) |
|---------|------------------------------------|
| Trigo   | 1827                               |
| Arroz** | 1644                               |
| Milho   | 1222                               |

|          |     |
|----------|-----|
| Melancia | 235 |
| Abacaxi  | 255 |
| Mamão    | 460 |
| Laranja  | 560 |
| Banana   | 790 |
| Maçã     | 820 |

\*\*Valor aproximado, considerando a média de todos os cereais. Fonte: Mekonnen e Hoekstra (2011).

Mekonnen e Hoekstra (2011) também avaliaram a pegada hídrica de alguns produtos derivados da produção agrícola, tais como óleos vegetais (Tabela 07).

Tabela 07: Pegada hídrica de derivados da produção agrícola (m<sup>3</sup>/t)

| <b>Óleos vegetais</b> | <b>Pegada Hídrica (m<sup>3</sup>/t)</b> |
|-----------------------|---|
| Óleo de milho         | 2600                                    |
| Óleo de algodão       | 3800                                    |
| Óleo de soja          | 4200                                    |
| Óleo de palma         | 5000                                    |
| Óleo de amendoim      | 7500                                    |
| Óleo de linhaça       | 9400                                    |

Fonte: Mekonnen e Hoekstra (2011)

A pegada hídrica pode se tornar um importante instrumento para a gestão dos recursos hídricos e do nexo. Conhecendo a pegada hídrica da produção agrícola em escala mundial é possível gerar adaptações para que a mesma possa ser aplicada a realidade Amazônica, tendo em vista o alcance da sustentabilidade a partir de formas mais eficientes de produzir.

Considerando a perspectiva do nexo é imprescindível conhecer a estrita relação entre água e produção de alimentos, fato possibilitado pela pegada hídrica.

O reconhecimento do atual quadro da produção de alimentos no Estado é o ponto de partida para a análise dessa relação. Água e alimentos estão entre os sustentáculos principais da vida e do desenvolvimento da sociedade.

#### **4.3.2 - Água e produção pecuária**

A produção de alimentos, particularmente de origem agropecuário, é um setor de destaque dentro da economia paraense. O estado do Pará possui o maior rebanho da região Norte e o 5º maior efetivo bovino do país, evidenciando-se além da produção bovina e bubalina, a criação de aves, suínos, equinos e caprinos. A pecuária dentro da

matriz econômica paraense representa 54% do PIB do setor primário<sup>3</sup> (FAPESPA, 2015).

A produção pecuária se apresenta na maioria dos municípios paraenses; em 53 deles desponta como atividade econômica predominante. De acordo com a FAPESPA (2015), dez municípios destacam-se nessa atividade, respondendo por 81% da produção total do Estado (Figura 14, Tabela 08).

São Félix do Xingu é o município que possui o maior rebanho bovino do Estado, correspondendo a 11,9% do total (2.282.245 cabeças). Novo Repartimento é o segundo colocado no ranking (885 mil cabeças), 4,6% do rebanho estadual (FAPESPA, 2015).

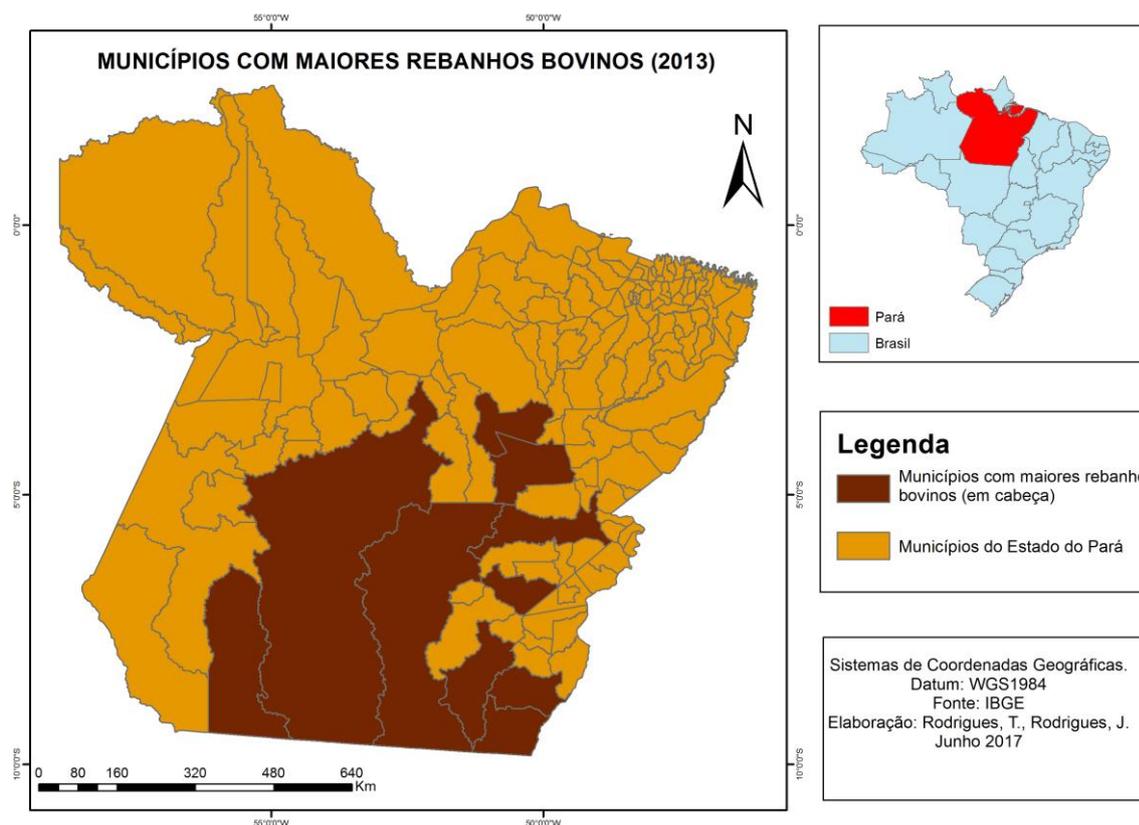
Tabela 08: Municípios com maiores rebanhos bovinos (em cabeça) no Pará, 2013.

| Pará | Municípios                | Cabeças           |                   | Variação (%) | Participação (%) |
|------|---------------------------|-------------------|-------------------|--------------|------------------|
|      |                           | 2012              | 2013              | 2012/2013    | 2013             |
|      |                           | <b>18.605.051</b> | <b>19.165.028</b> | <b>3,01</b>  | <b>100</b>       |
| 1º   | São Félix do Xingu        | 2.143.760         | 2.282.445         | 6,47         | 11,91            |
| 2º   | Novo Repartimento         | 791.795           | 855.319           | 8,02         | 4,46             |
| 3º   | Cumarú do Norte           | 749.278           | 821.185           | 9,60         | 4,28             |
| 4º   | Altamira                  | 668.541           | 711.028           | 6,36         | 3,71             |
| 5º   | Marabá                    | 660.000           | 705.000           | 6,82         | 3,68             |
| 6º   | Santana do Araguaia       | 613.152           | 663.655           | 8,24         | 3,46             |
| 7º   | Novo Progresso            | 687.142           | 632.521           | -7,95        | 3,3              |
| 8º   | Água Azul do Norte        | 556.735           | 564.582           | 1,41         | 2,95             |
| 9º   | Santa Maria das Barreiras | 478.639           | 498.664           | 4,18         | 2,6              |
| 10º  | Pacajá                    | 432.578           | 492.442           | 13,84        | 2,57             |

Fonte: FAPESPA (2015).

<sup>3</sup> Participação do setor primário no PIB paraense: 54% pecuária; 29% agricultura e 17% outros (silvicultura, exploração florestal e pesca). (FAPESPA, 2015).

Figura 14: Municípios com maiores rebanhos bovinos do Estado.



O Pará lidera o ranking nacional do rebanho bubalino desde 2013, com aproximadamente 507.882 cabeças (38,12% da produção brasileira). Os principais municípios produtores são Chaves (28,41%), Soure (28,4%), Cachoeira do Arari (7,38%), e Almeirim (6,53%), juntos estes municípios concentram 66% desse rebanho no Estado (FAPESPA, 2015) (Tabela 09).

Tabela 09: Municípios com maiores rebanhos bubalinos (em cabeças) no Pará.

| Municípios                 | Cabeças        |                | Variação (%) | Participação (%) |
|----------------------------|----------------|----------------|--------------|------------------|
|                            | 2012           | 2013           | 2012/2013    | 2013             |
| <b>Pará</b>                | <b>454.079</b> | <b>507.882</b> | <b>11,85</b> | <b>100</b>       |
| <b>Chaves</b>              | 88.360         | 144.288        | 63,3         | 28,41            |
| <b>Soure</b>               | 71.993         | 120.039        | 66,74        | 23,64            |
| <b>Cachoeira do Arari</b>  | 36.456         | 37.507         | 2,88         | 7,38             |
| <b>Almeirim</b>            | 46.537         | 33.185         | -28,69       | 6,53             |
| <b>Prainha</b>             | 32.834         | 28.426         | -13,43       | 5,6              |
| <b>Ponta de Pedras</b>     | 21.334         | 27.393         | 28,4         | 5,39             |
| <b>Santa Cruz do Arari</b> | 13.794         | 13.800         | 0,04         | 2,72             |
| <b>Muaná</b>               | 13.579         | 12.649         | -6,85        | 2,49             |
| <b>Porto de Moz</b>        | 42.907         | 10.190         | -76,25       | 2,01             |
| <b>Santarém</b>            | 10.739         | 9.971          | -7,15        | 1,96             |
| <b>Demais municípios</b>   | 74.854         | 69.754         | -6,81        | 13,73            |

Fonte: FAPESPA (2015).

De acordo com o Boletim Agropecuário do Estado do Pará (FAPESPA, 2015), o potencial produtivo da pecuária paraense tem atraído à implantação de plantas

frigoríficas. Atualmente 35 processam cerca de 4,2 milhões de animais/ano. Do total de carne produzida, 25% destina-se ao consumo interno, sendo o restante comercializado para os mercados nacional (principalmente Região Nordeste) e internacional. Na pecuária leiteira, onde predominam pequenos criadores, as unidades de processamento têm crescido, são 40 laticínios produzindo queijo, iogurtes etc.

Destaca-se também no rol da produção animal no Estado, a criação de galináceos, sendo o rebanho paraense classificado como o maior do Norte do país. Na tabela 10 estão listados os 10 municípios com maiores rebanhos do Estado, que acumulam mais de 60% do total paraense. A maior parcela se concentra em Santa Isabel, com 23,72% do total (mais de 3 milhões de animais registrados), seguido por Santarém com 7,92% (mais de 1 milhão de animais) e Benevides com 7,5% (980 mil animais) (FAPESPA, 2015).

Tabela 10: Municípios paraenses com maiores rebanhos de galináceos (2013).

| <b>Municípios</b>            | <b>Quantidade</b> | <b>Proporção (%)</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Santa Isabel</b>          | 3.103.500         | 23,72                |
| <b>Santarém</b>              | 1.035.989         | 7,92                 |
| <b>Benevides</b>             | 980.630           | 7,5                  |
| <b>Igarapé-Açu</b>           | 898.400           | 6,87                 |
| <b>Marituba</b>              | 935.000           | 3,02                 |
| <b>Curuçá</b>                | 380.000           | 2,9                  |
| <b>São Francisco do Pará</b> | 350.000           | 2,68                 |
| <b>Santa Bárbara do Pará</b> | 347.800           | 2,66                 |
| <b>Castanhal</b>             | 301.400           | 2,3                  |
| <b>Vigia</b>                 | 298.000           | 2,28                 |

Fonte: FAPESPA (2015).

A produção pecuária se destaca no Estado do Pará em função de vários motivos, dentre eles: a disponibilidade de terras, os custos relativamente baixos da produção, as condições climáticas favoráveis às pastagens, e principalmente as políticas de incentivo ao desenvolvimento destas atividades, que vigoram na Amazônia desde a década de 1960 (PEREIRA, 2012).

A pecuária é um dos principais agentes causadores de impactos sobre os recursos naturais e conseqüente degradação das paisagens. Primeiro por ser um dos grandes responsáveis pelo desmatamento na região Amazônica, além da compactação do solo gerada a partir do pisoteio do gado, no caso da pecuária extensiva. A atividade também gera poluição hídrica em função de rejeitos da produção depositados no solo sem tratamento ou transportados para corpos d'água.

Segundo Pereira (2012), o ciclo da cadeia produtiva da carne começa com o rebanho no pasto se utilizando de recursos naturais para o seu desenvolvimento como, água e solo, e se concretizando com sua importação ou exportação. Ainda é mais comum no Pará à importação e exportação para o mercado interno indo para os matadouros/frigoríficos do mesmo ou de outros estados brasileiros. Na cadeia produtiva bovina de corte um dos grandes recursos usados é a água, utilizada tanto na produção animal como também na atividade de matadouros/frigoríficos. Este recurso é usado em todo o processo produtivo, não levando em consideração seu valor econômico e a quantidade e qualidade dos efluentes gerados, assim como outros resíduos sólidos. Ainda segundo a referida autora, no estado do Pará com o aumento das pastagens para criação bovina cresce a necessidade de uso constante de recursos hídricos, ligados as bacias hidrográficas que por sua vez, são usadas para diversos fins sociais e econômicos. A pecuária bovina paraense na grande maioria está destinada ao corte, aproximadamente 90%, sendo pequena a quantidade leiteira (10%) e com baixo investimento em laticínios, embora tenha havido crescimento e diversificação na última década. A tendência de expansão expressiva se verifica nas mesorregiões Sudeste e Sudoeste justamente onde ocorrem um processo de modernização nas estruturas produtivas e na sua gestão.

Discute-se atualmente sobre as exportações de água virtual (RODRIGUEZ, 2016; PEREIRA, 2012; CARMO et al., 2007). Água virtual diz respeito ao comércio indireto da água que está embutida em certos produtos, especialmente as commodities agropecuárias enquanto matéria-prima intrínseca desses produtos, ou seja, toda água envolvida no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola passa a ser denominada água virtual (CARMO et al, 2007). O Brasil é o 10º país exportador de água virtual do mundo (MALDONADO, 2006) por causa da grande produção de soja e da carne bovina, que não incluem no preço do produto exportado o valor gasto também com o recurso hídrico utilizado em todo o ciclo de vida do processo produtivo (PEREIRA, 2012). Pereira (2012) assinala ainda que o consumo de água para a produção da carne bovina contabiliza a água utilizada desde o início do cultivo até a comercialização final da carne, sendo o consumo per capita de 60 litros/água/dia. Maldonado (2006) a partir de alguns trabalhos aponta a quantidade de água estimada para produzir um kg de carne bovina (Tabela 11).

Tabela 11: Estimativa de água necessária para a produção de um kg de carne bovina.

| LITROS DE ÁGUA  | FONTE   |
|-----------------|---|
| 10.000          | Righes (2006)   |
| 13.000          | Zimmer <i>apud</i> Sacchetta (2003)                       |
| 13.500 a 20.700 | Rodrigues (2003)  |
| 15.000          | Novaes (2004); UNESCO (2003)                              |
| 15.000 a 70.000 | Tundisi (2003)  |
| 43.000          | Pimentel <i>et al.</i> (2004); Carmo <i>et al.</i> 2005)  |
| 100.000         | Waldman (2004); Armand <i>apud</i> Freitas; Santos (1999) |

Fonte: Maldonado (2006).

A água é muito utilizada em diversas etapas do processo produtivo. Na indústria frigorífica, por exemplo, é incorporada a produtos, usada para lavagem de máquinas, pisos, tubulações, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial, e etc. Pereira (2012) denotou alguns aspectos sobre a água consumida em abatedouros e frigoríficos:

- 40 a 50% da água usada é aquecida ou quente (40 a 85° C);
- Cerca de 50% do uso da água é fixo (independe da produção);
- 50 a 70% do uso de água depende de práticas operacionais (limpezas com mangueiras, lavagens manuais dos animais e dos produtos). Portanto, melhorias nestas práticas, conscientização do pessoal e sua supervisão operacional podem influenciar significativamente o uso de água na indústria de carne;
- Plantas mais moderna podem ser mais fáceis de limpar, devido à —layout mais planejado e favorável e a equipamentos com melhores projetos, possibilitando uso mais eficiente de água;
- Plantas exportadoras podem ter um consumo maior de água em função de exigências sanitárias mais rigorosas do mercado externo em relação ao mercado local.

#### 4.3.3 – Produção agrícola no Estado do Pará

Na produção agrícola no Estado há duas categorias: as lavouras permanentes e temporárias. Sendo as primeiras as que compreendem plantios de longa duração, que após a colheita não necessitam de um novo, já as lavouras temporárias, que são as mais representativas no conjunto da produção paraense, abrangem culturas de curta duração que geralmente requerem um novo plantio a cada colheita (IBGE, 2015).

Nesse sentido, alguns produtos se destacaram no cenário da produção agrícola do Estado em 2012, categoria lavoura permanente: abacate, banana, cacau, café,

castanha de caju, coco da baía, dendê, laranja, limão, mamão, maracujá, pimenta-do-reino (Tabela 12). A banana e o coco da baía, produzidos por 79% e 77% dos municípios paraenses, respectivamente, possuíam maior representatividade. No entanto, no que diz respeito à produção em mil Reais, destacaram-se a pimenta-do-reino e o cacau, que geraram uma receita de R\$ 346.423 e R\$ 307.250 para o Estado (FAPESPA, 2015).

Tabela 12: Produção agrícola no estado do Pará (lavoura permanente), 2012.

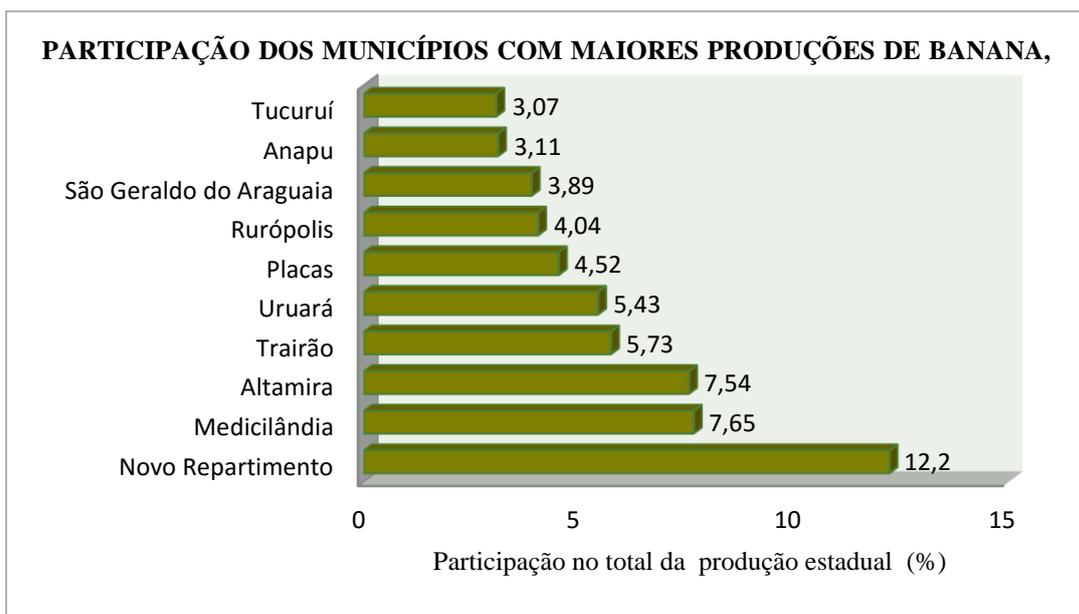
| <b>Principais produtos</b> | <b>N ° de municípios produtores</b> | <b>Total produzido (mil Reais)</b> |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Abacate</b>             | 3                                   | 222                                |
| <b>Banana</b>              | 115                                 | 275.411                            |
| <b>Cacau</b>               | 62                                  | 307.250                            |
| <b>Café</b>                | 40                                  | 30.999                             |
| <b>Castanha de caju</b>    | 20                                  | 2.718                              |
| <b>Coco da baía</b>        | 111                                 | 90.556                             |
| <b>Dendê</b>               | 18                                  | 272.951                            |
| <b>Laranja</b>             | 75                                  | 75.171                             |
| <b>Limão</b>               | 32                                  | 11.957                             |
| <b>Mamão</b>               | 42                                  | 18.653                             |
| <b>Maracujá</b>            | 67                                  | 30.495                             |
| <b>Pimenta-do-reino</b>    | 83                                  | 346.423                            |

Fonte: FAPESPA (2015).

Já em 2013, assumiram destaque o cacau e a banana, que apresentaram variação de 18, 47% e 7,10%, respectivamente, na quantidade produzida e de 10,09% e 5, 14% na área colhida, sendo a banana o produto de maior valor de produção no grupo das lavouras permanentes (FAPESPA, 2015).

Segundo a FAPESPA (2015), o Pará é o quinto maior produtor de banana do país, participando com 8,5% do total nacional, porém essa produção ainda se apresenta de modo disperso no território estadual. A Figura 15 elenca os dez municípios de maiores lavouras, que somam 57,18% da produção da cultura no Estado.

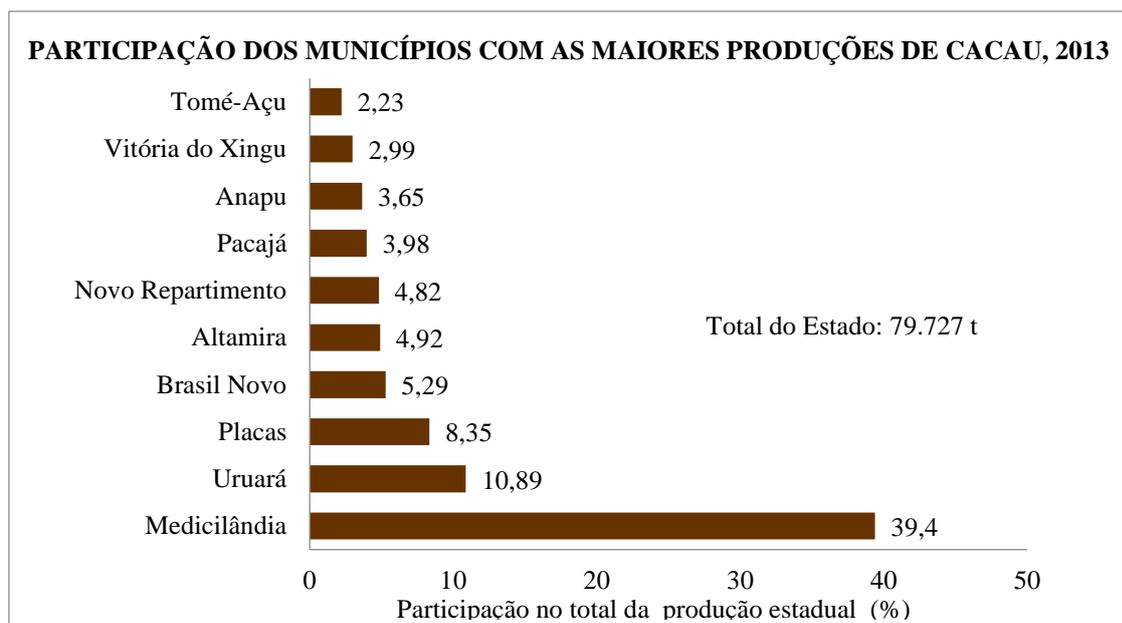
Figura 15: Participação (%) dos municípios com maiores produções de banana do Estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA (2015).

O cacau, a maior das lavouras permanentes, com 97.176 ha. de área colhida no Estado, e uma produção de 79.727 t. de amêndoas, é a segunda maior lavoura em produção, contribuindo com 31% da safra nacional, sendo o cultivo realizado basicamente por pequenos produtores, predominantemente em solos de média a alta fertilidade. A cacauicultura paraense é uma das mais competitivas do mundo, com destaque para os municípios de Medicilândia (40% do total do Estado), Uruará (10,89%) e Placas (8,35%) (FAPESPA, 2015). A Figura 16 destaca os dez municípios com as maiores produções de cacau no Estado.

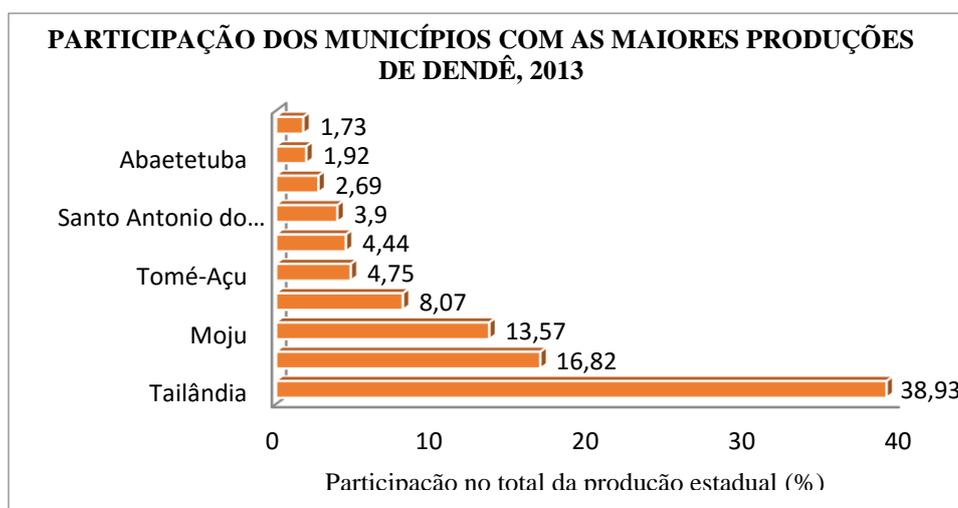
Figura 16: Participação (%) dos municípios com as maiores produções de cacau do estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

No âmbito das lavouras permanentes destacam-se ainda a produção de dendê e de pimenta-do-reino. O primeiro com 1.040.538 t., correspondendo a 51% do total do estado, essa produção além de ser incentivada pela legislação estadual, conta com condições edafoclimáticas muito favoráveis, sendo os municípios de Tailândia, Acará e Moju (Figura 17), os maiores produtores, esses municípios juntos perfazem 62,39% do total da produção dessa lavoura no Pará (FAPESPA, 2015).

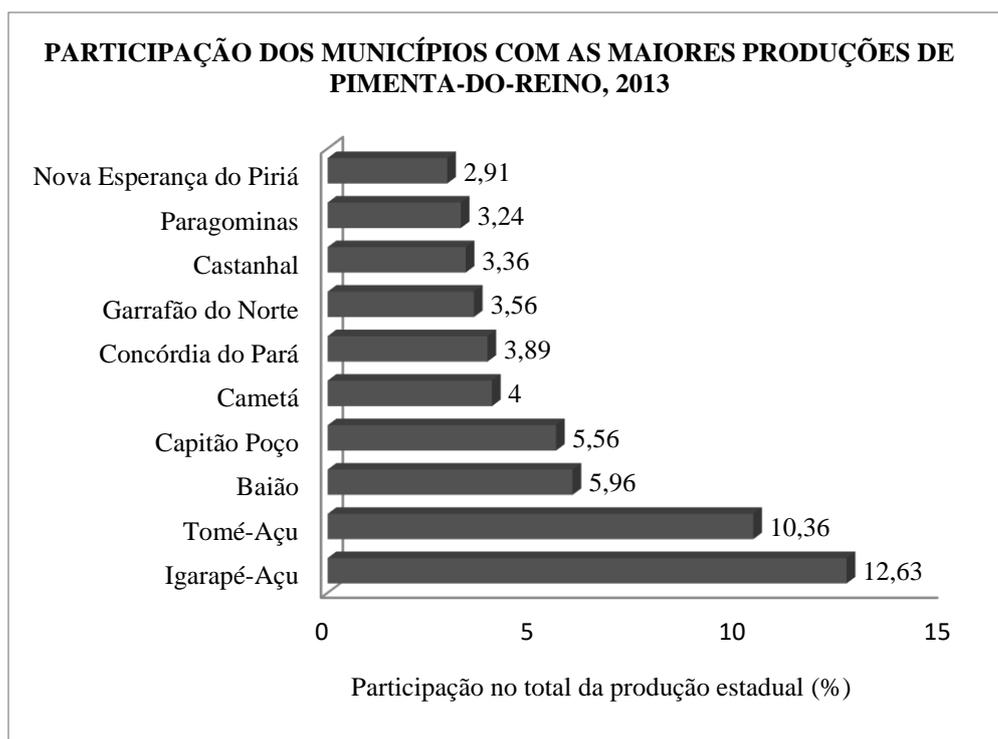
Figura 17: Participação dos dez municípios com as maiores produções de Dendê do estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

A pimenta-do-reino também se sobressai nas lavouras permanentes, sendo o segundo produto agrícola de maior valor exportado pelo Pará em 2013. A produção paraense é considerada a maior em âmbito nacional com 30.885 toneladas (FAPESPA, 2015). A figura 18 elenca os dez municípios com maior representatividade na produção dessa cultura, Igarapé-Açu e Tomé-Açu se destacam com as maiores produções.

Figura 18: Participação dos municípios com as maiores produções de pimenta-do-reino no estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

No total, 14 produtos predominam no âmbito da lavoura permanente paraense, além do dendê, banana, cacau e pimenta-do-reino, tem-se: laranja, limão, maracujá, mamão, café, goiaba, tangerina, urucum e castanha de caju (Tabela 13).

Tabela 13: Lavoura permanente (tonelada) no Estado do Pará: quantidade produzida, área colhida, valor da produção e rendimento médio, 2013.

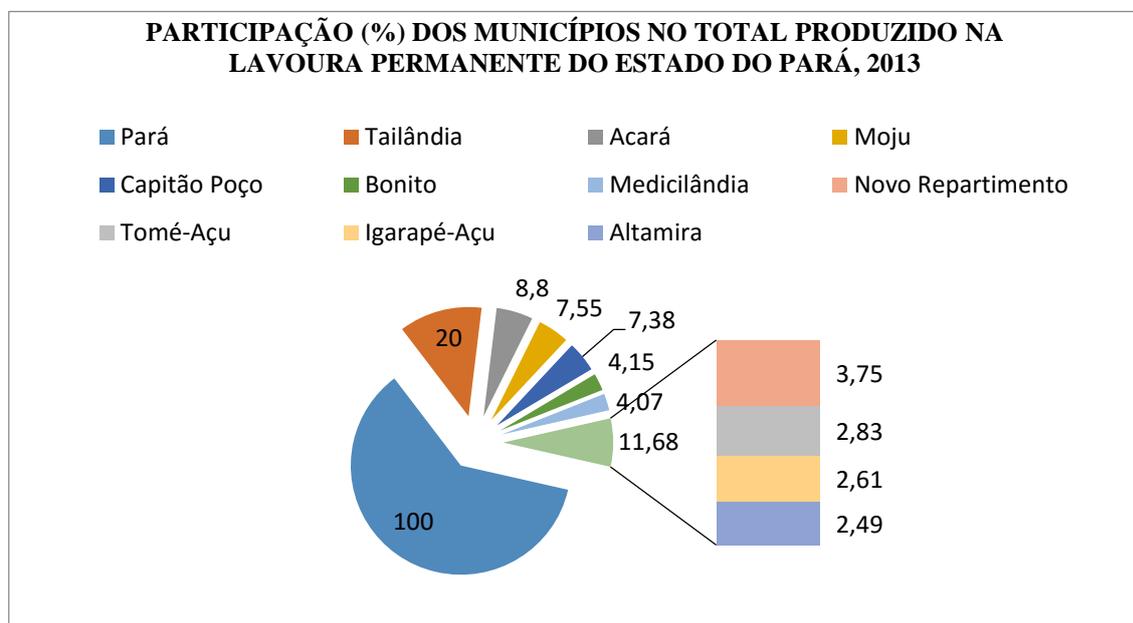
| Lavoura Permanente               | Quantidade Produzida | Área Colhida (hectares) | Valor da Produção (mil reais) | Rendimento médio (Tonelada por hectare) |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Total **</b>                  | <b>2.022.696</b>     | <b>239.088</b>          | <b>1.580.198</b>              | <b>8,46</b>                             |
| <b>Dendê (cacho de coco) (t)</b> | 1.040.538            | 54.475                  | 263.285                       | 19,10                                   |
| <b>Banana (cacho) (t)</b>        | 585.943              | 43.510                  | 411.926                       | 13,47                                   |
| <b>Coco-da-baía (mil frutos)</b> | 214.859              | 21.092                  | 106.284                       | 10,19                                   |
| <b>Laranja (t)</b>               | 197.766              | 11.851                  | 95.607                        | 16,69                                   |

|                                 |        |        |         |       |
|---------------------------------|--------|--------|---------|-------|
| <b>Cacau (em amêndoas) (t)</b>  | 79.727 | 97.176 | 336.848 | 0,82  |
| <b>Limão (t)</b>                | 32.131 | 1.854  | 28.326  | 17,33 |
| <b>Pimenta-do-reino (t)</b>     | 30.885 | 13.948 | 365.334 | 2,21  |
| <b>Maracujá (t)</b>             | 20.786 | 1.933  | 26.348  | 10,75 |
| <b>Mamão (t)</b>                | 19.266 | 1.151  | 18.878  | 16,74 |
| <b>Café (em grão) Total (t)</b> | 5.930  | 6.377  | 19.827  | 0,93  |
| <b>Goiaba (t)</b>               | 2.944  | 173    | 2591    | 17,02 |
| <b>Castanha de Caju (t)</b>     | 1.668  | 3.064  | 1.732   | 0,54  |
| <b>Urucum (semente) (t)</b>     | 1.536  | 1.596  | 4.562   | 0,96  |
| <b>Tangerina (t)</b>            | 1.524  | 102    | 1.658   | 14,94 |

\*\*Não inclui coco-da-baía (mil frutos). Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

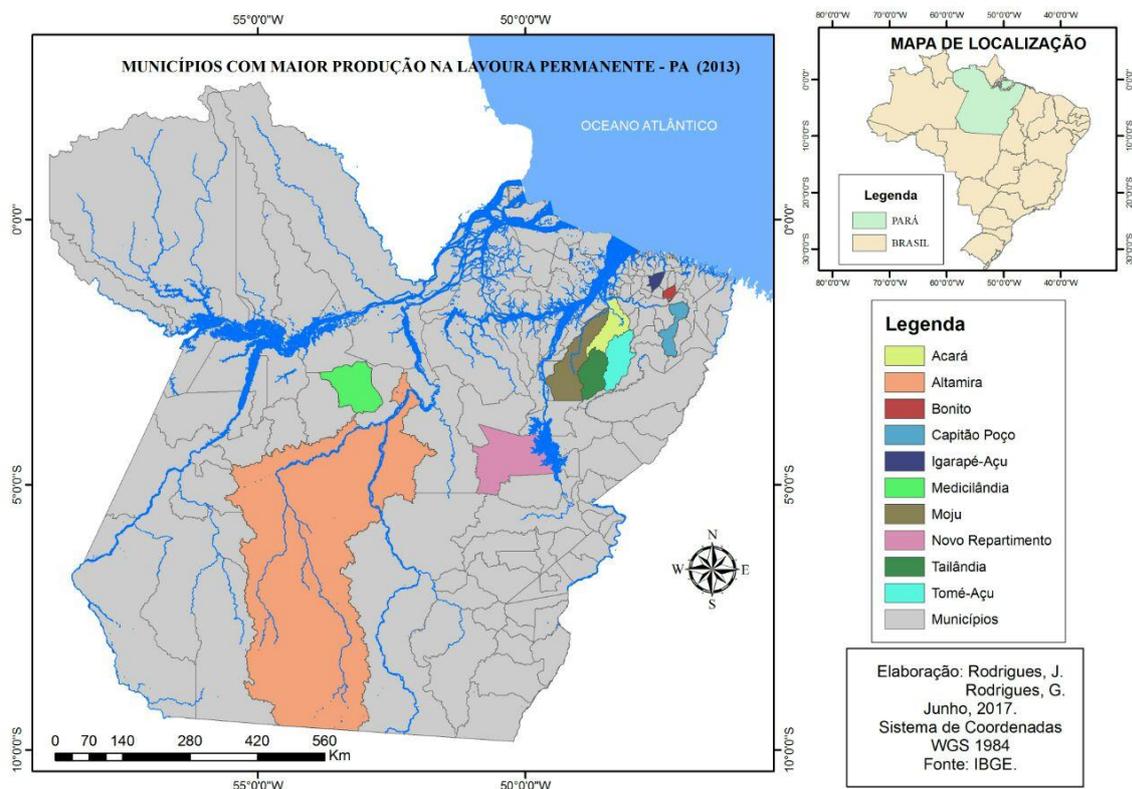
Nesse segmento, o município com maior destaque dentro da produção agrícola é Tailândia, com 20% do total produzido no estado, seguido por Acará, Moju, Capitão Poço, Bonito, Medicilândia, Novo Repartimento, Tomé-Açu, Igarapé-Açu e Altamira (FAPESPA, 2015) (Figuras 19 e 20).

Figura 19: Participação (%) dos dez municípios que se destacam na lavoura permanente do Estado, 2013.



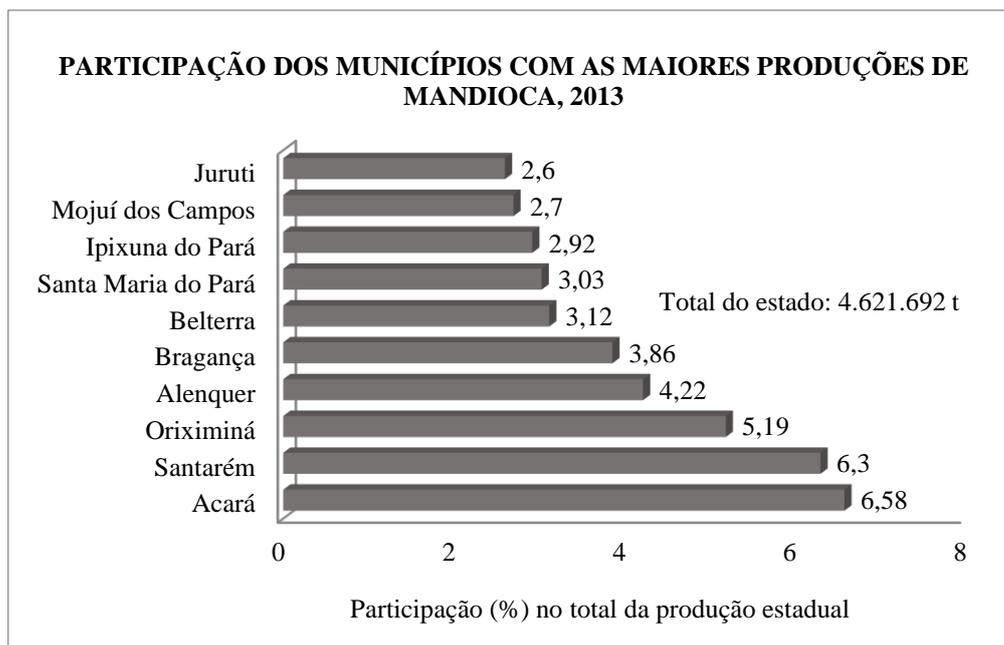
Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

Figura 20: Municípios que se destacam na lavoura permanente, 2013.



Nas culturas temporárias se sobressai a mandioca, com 59,2% do valor da produção nessa lavoura e 65,4% da quantidade produzida, colocando o estado do Pará na posição de maior produtor nacional. Segundo dados da FAPESPA (2015), os principais municípios produtores são Acará, Santarém, Oriximiná e Alenquer. Esses municípios juntos respondem por 40,52% do total de toneladas produzidas no Estado (Figura 21).

Figura 21: Participação (%) dos municípios com as maiores produções de mandioca do estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

Sobressaem-se também dentro deste seguimento, a cana-de-açúcar, o milho e a soja. A primeira se classifica como a 2ª maior produção entre as lavouras temporárias (935.020 t.), derivada de uma área colhida de 13.801 ha. (FAPESPA, 2015). Desde 2013 Ulianópolis é o município que mais se destaca na produção dessa lavoura, seguido por Nova Ipixuna e Santa Maria das Barreiras (Tabela 14).

Tabela 14: Participação dos municípios com as maiores produções de cana-de-açúcar no Estado do Pará, 2013.

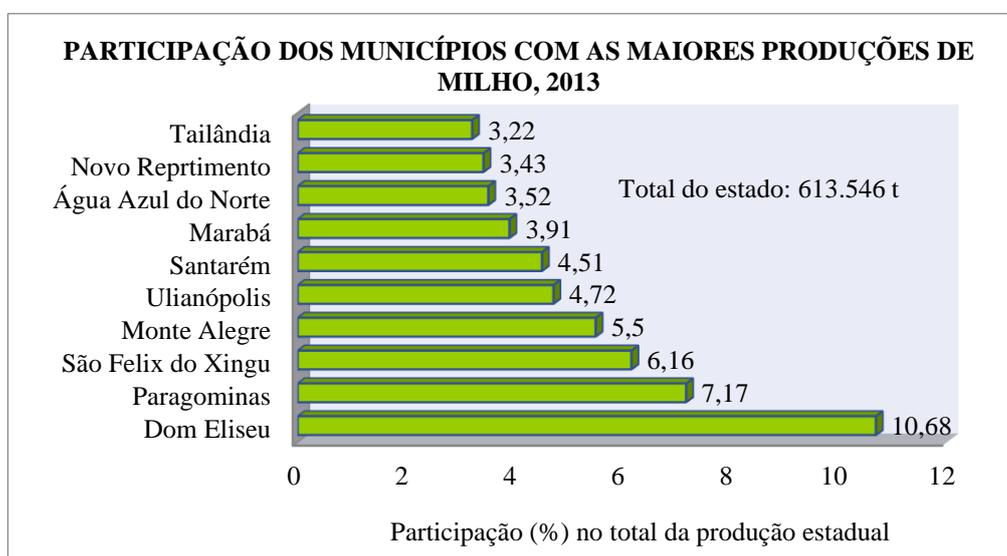
| Município                 | Participação (%) |
|---------------------------|------------------|
| Ulianópolis               | 95,19            |
| Nova Ipixuna              | 0,83             |
| Santa Maria das Barreiras | 0,64             |
| São João do Araguaia      | 0,5              |
| Abaetetuba                | 0,32             |
| Itaituba                  | 0,28             |
| Redenção                  | 0,19             |
| Altamira                  | 0,19             |
| Cumarú do Norte           | 0,17             |
| Trairão                   | 0,14             |

Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

As lavouras de milho e soja ocupam o 3º e o 4º lugar, respectivamente, em volume de produção das culturas temporárias no Estado, envolvendo três polos como áreas de produção: nordeste, sul/sudeste e oeste paraense. A produção de milho se faz

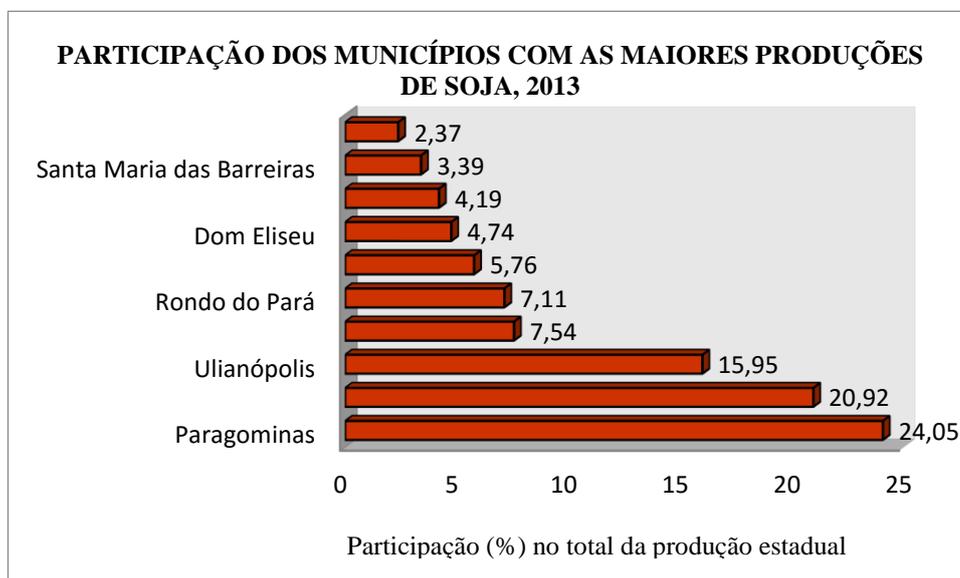
presente em mais de 100 municípios do Estado, enquanto a de soja é realizada em apenas 22 (FAPESPA, 2015). As Figuras 22 e 23 ilustram os municípios com maiores participação na produção dessas culturas no ano de 2013.

Figura 22: Participação (%) dos municípios com maiores produções de milho do estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

Figura 23: Participação (%) dos municípios com maiores produções de soja do estado do Pará, 2013.



Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

A produção de soja é mais concentrada geograficamente; os três principais municípios abrangem mais de 60% da produção estadual. Paragominas (24% do total) foi o que mais produziu em 2013, seguido por Santana do Araguaia (20,92%) e Ulianópolis (15,95%).

Além da produção de soja e milho, destacam-se ainda na esfera das lavouras temporárias, a produção de abacaxi, arroz, melancia, feijão, tomate e malva (Tabela 15).

Tabela 15: Lavoura temporária no Estado do Pará: quantidade produzida, área colhida, valor da produção e rendimento médio, 2013.

| Lavoura Temporária             | Quantidade Produzida | Área Colhida (hectares) | Valor da Produção (mil reais) | Rendimento médio (Toneladas por hectare) |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| <b>Total (em toneladas)***</b> | <b>7.040.324</b>     | <b>869.401</b>          | <b>3.457.817</b>              | <b>8,1</b>                               |
| Mandioca                       | 4.621.692            | 302.300                 | 2.208.029                     | 15,29                                    |
| Cana-de-açúcar                 | 935.020              | 13.801                  | 94.267                        | 67,75                                    |
| Milho (em grão)                | 613.546              | 220.962                 | 356.781                       | 2,78                                     |
| Soja (em grão)                 | 506.347              | 189.746                 | 499.807                       | 2,67                                     |
| Abacaxi (mil frutos)           | 320.478              | 10.777                  | 263.636                       | 29,74                                    |
| Arroz (em casca)               | 205.358              | 91.549                  | 130.111                       | 2,24                                     |
| Melancia                       | 117.410              | 5.223                   | 81.232                        | 22,48                                    |
| Feijão (em grão)               | 30.737               | 43.941                  | 65.493                        | 0,7                                      |
| Tomate                         | 9.055                | 370                     | 20164                         | 24,47                                    |
| Malva (fibra)                  | 1.159                | 1.509                   | 1.933                         | 0,77                                     |

\*\*\*Produções acima de mil toneladas, essa somatória exclui o abacaxi, visto que a contagem deste não se dá em toneladas. Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

Segundo a FAPESPA (2015), a produção de todas as lavouras temporárias do Estado, em 2013, foi de 7.064.691 toneladas. Ulianópolis foi o município com a maior participação (14,81%), abrangendo 95% da produção estadual de cana-de-açúcar e 16% do cultivo de soja. Santarém foi o segundo município colocado, com 5,27% do total cultivado, destacando-se na produção de mandioca com a segunda maior lavoura (6,29%) e na de soja (7,53%). Além desses dois municípios, outros oito se sobressaem (Tabela 13, Figura 24).

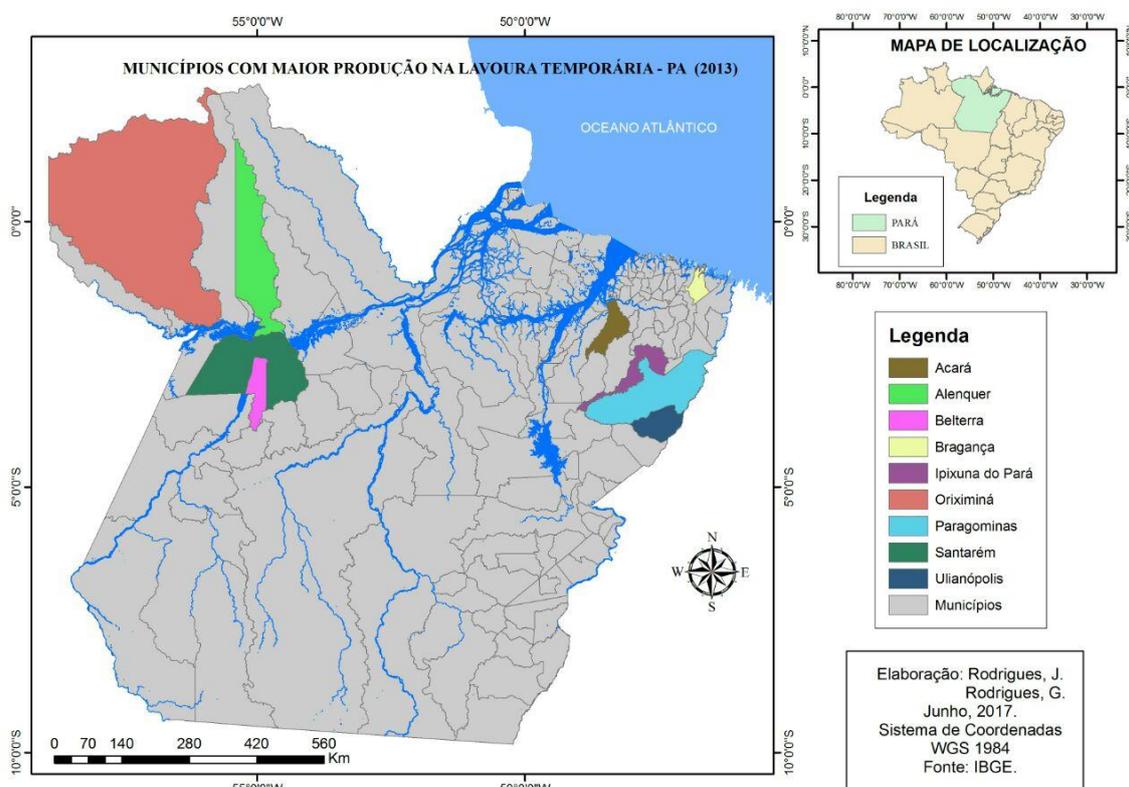
Tabela 13: Participação dos municípios na lavoura temporária do estado do Pará, 2013.

| Estado/Município | Produção (t)* | Participação (%) |
|------------------|---------------|------------------|
| Pará             | 7.064.691     | 100              |
| Ulianópolis      | 1.046.367     | 14,81            |
| Santarém         | 372.094       | 5,27             |
| Acará            | 304.763       | 4,31             |
| Oriximiná        | 243.021       | 3,44             |
| Paragominas      | 236.300       | 3,34             |
| Alenquer         | 210.760       | 2,98             |
| Belterra         | 202.464       | 2,87             |
| Bragança         | 180.878       | 2,56             |
| Mojú dos Campos  | 169.303       | 2,4              |

|                 |         |      |
|-----------------|---------|------|
| Ipixuna do Pará | 154.737 | 2,19 |
|-----------------|---------|------|

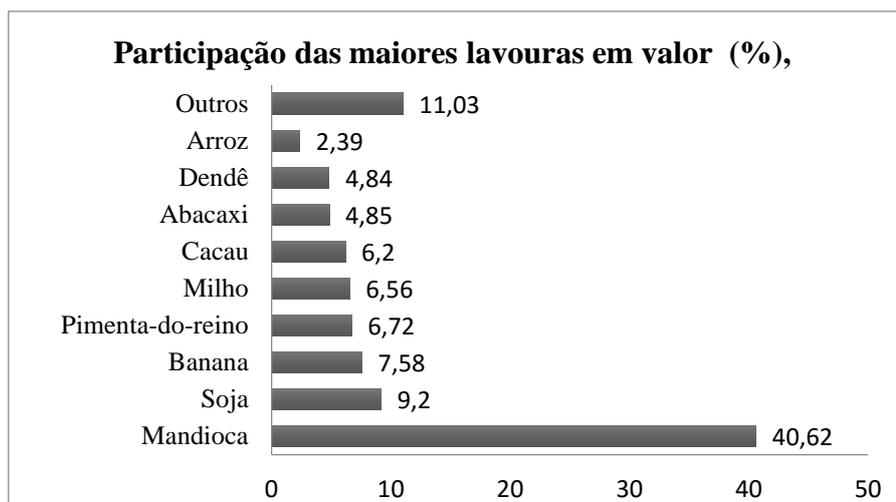
\*Produção em toneladas. Fonte: FAPESPA/SEDAP (2015).

Figura 24: Municípios que se destacam na lavoura temporária, 2013.



Considerando a produção por área cultivada, em 2013, o Estado atingiu 1.149.309 ha, gerando mais de 9,1 milhões de toneladas (cerca de 27% do PIB agropecuário paraense). Neste mesmo ano, oito produtos respondiam por 89% do valor total da produção: mandioca (40,6%); soja (9,2%); banana (7,6%); pimenta-do-reino (6,7%); milho (6,6%); cacau (6,2%); dendê (4,9%); abacaxi (4,9%); arroz (2,4%). Destaca-se que o Pará é o maior produtor nacional de mandioca, abacaxi, pimenta-do-reino e dendê (FAPESPA, 2015) (Figura 25).

Figura 25: Participação das maiores lavouras em valor (%), 2013.



Fonte: FAPESPA (2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da pesquisa, observou-se que certos esforços têm sido feitos dentro da perspectiva do nexos com o fim de avançarem as discussões, porém, os mesmos esbarram em alguns obstáculos que dificultam a sua operacionalização, tais como: a falta de uma metodologia de análise do nexos; a definição das escalas temporal e espacial, o objeto de estudo, o arcabouço teórico conceitual que se encontra ainda em construção.

Neste sentido, buscou-se no presente trabalho discutir e apresentar instrumentos que auxiliem a operacionalização do nexos, possibilitando o avanço nas discussões acerca deste tema e sua abordagem em aspectos mais concretos, para além da teorização.

Analisar os três elementos centrais da vida em sociedade (água, alimentos e energia) a partir da perspectiva do nexos não é tarefa fácil, sobretudo, no que condiz a realidade amazônica, onde se tem extrema carência de dados que informem sobre a atual situação desses recursos na região.

Arelado a isto, a falta de interesse do poder público para com a gestão, sobretudo, da demanda pelos recursos água, alimentos e energia, são um dos obstáculos à mesma e ao próprio desenvolvimento econômico e social do Estado. Quando se considera a dimensão territorial do Pará e sua rica rede de drenagem, elemento principal do nexos, esta questão se torna um verdadeiro paradoxo. Um Estado que faz parte da maior bacia hidrográfica do mundo, detentor de uma biodiversidade exuberante e uma elevada superfície territorial, onde boa parte da população não tem seus direitos básicos atendidos, sem acesso aos recursos essenciais à sobrevivência.

Nesse contexto, observou-se que os indicadores sociais e de saneamento investigados nos municípios paraenses, apontam que ações de saneamento são necessárias para o estabelecimento de condições salubres, que permitam o pleno desenvolvimento humano, e isto deve ser incorporado à gestão do nexos, visto que são parâmetros que geram pressão sobre os recursos hídricos, elo central de todas as atividades que regem a vida humana.

Além do desinteresse do poder público, o mito instaurado na região Amazônica acerca da abundância de recursos naturais dá margem ao desperdício e a degradação dos mesmos. Observa-se em municípios como Belém, a capital do estado, que enquanto a

população padece com a falta de água em alguns bairros, noutras partes da cidade há desperdício, degradação de mananciais, entre outros problemas, no interior do Estado essas questões se tornam ainda mais agravantes.

A população amazônica ainda é muito omissa em relação aos problemas vivenciados na região e veem questões como mudanças climáticas e escassez hídrica como fenômenos muito distantes de sua realidade cotidiana, propagando a mentalidade de inesgotabilidade dos recursos naturais. A falta de acesso à informação, o baixo grau de escolaridade de boa parte dessa população e a ausência de engajamento político são fatores que agravam ainda mais essa questão.

Discussões como o nexos, precisam ultrapassar os limites da academia e alcançar a população. O diálogo entre universidade e sociedade deve ser cada vez mais frequente, encurtando as distancias entre ambos será mais fácil encontrar soluções para questões vigentes partindo das próprias demandas sociais.

Neste sentido, para além da gestão, a governança do nexos torna-se um elemento primordial na busca pela sustentabilidade.

As inter-relações entre água-energia-alimentos devem ser incorporadas de modo concreto ao planejamento, manejo e gestão dos recursos, com o diálogo entre usuários e setores do nexos.

Deste modo, o presente trabalho foi ao encontro dos objetivos propostos, a partir dos quais se pode observar que a demanda por água, energia e alimentos no Estado, não é contemplada de modo satisfatório, além da ausência de diálogo entre os três setores, o desinteresse dos entes competentes no que condiz as demandas locais, e a gestão ineficiente da água na região, constituem-se alguns dos obstáculos principais ao atendimento das demandas amazônicas.

Verificou-se que a questão primordial dentro da gestão dos elementos do nexos, é fundamentalmente relacionada as demandas, já que a oferta se dá de modo satisfatório, o Estado do Pará possui um rico aporte dos três recursos, que daria para satisfazer as demandas internas e externas.

Este trabalho objetivou motivar o debate acerca do nexos na Amazônia e estimular pesquisas e intervenções com foco nessa nova abordagem, considerando as inter-relações entre os três sustentáculos da vida na Terra.

Mudanças climáticas, sociais e econômicas necessitam ser incorporadas aos planos de gestão, com fins de se ter como agir em um contexto de possível escassez hídrica, o que poderia impactar os demais setores do nexos e a sociedade como um todo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Engecorps/Cobrap 1. Brasília: ANA, 2010, p. 72.

\_\_\_\_\_. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por Estado. Engecorps/Cobrap 2. Brasília: ANA, 2010, p. 32.

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2013, p. 432. Disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/>

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014. Brasília: ANA, 2014, p. 103. Disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/>

\_\_\_\_\_. Disponibilidade e demanda dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2005. Não paginado.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de Informações Gerenciais**. Dezembro, 2016. Disponível em [www.aneel.gov.br/publicações](http://www.aneel.gov.br/publicações)

\_\_\_\_\_. Plano de dados abertos 2016-2017. Julho, 2016. Disponível em [www.aneel.gov.br/publicações](http://www.aneel.gov.br/publicações)

AYOADE, J. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.332.

BAZILIAN, M.; ROGNER, H.; HOWELLS, M.; HERMANN, S. ARENT, D.; GIELEN, D.; STEDUTO, P.; MUELLER, A.; KOMOR, P.; TOL, R.; YUMKELLA, K. Considering the energy, water and food nexus: towards an integrated modelling approach. **Energy Policy** 39: 7896-7906, 2011.

BIGGS, E.; BRUCE, E.; BORUFFY, B.; DUNCAN, J.; HORSLEY, J.; PAULY, N.; MECNEILL, K.; NEFF, A.; OGTROP, F.; CURNOW, O.; HAWORTH, B.; DUCE, S.; IMANARI, Y. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy** 54: 389-397, 2015.

BORDALO, C. O Paradoxo da Água na Amazônia brasileira. A riqueza hídrica *versus* a pobreza do acesso à água potável. **Anais do IX ENANPEGE**. Goiânia, 2011.

\_\_\_\_\_. Os desafios da gestão das águas nas metrópoles da Amazônia: uma análise do modelo de gestão pública dos sistemas de abastecimento de água na região metropolitana de Belém – PA. **Revista Geonorte**3(4): 1181-1193, 2012.

\_\_\_\_\_. A “crise” mundial da água vista numa perspectiva da geografia política. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. São Paulo, Nº 31 especial: 66 - 78, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)

BRASIL. DECRETO Nº 2.652, DE 1º DE JULHO DE 1998. Promulga a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. Disponível em [www.planalto.gov.br/ccivil](http://www.planalto.gov.br/ccivil)

BRASIL. LEI Nº 5.887, DE 09 DE MAIO DE 1995. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**, 11 de maio de 1995. Disponível em <http://www.sema.pa.gov.br>

BRASIL. LEI Nº 9.433 DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,

regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)

BRASIL. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/>

BRITO, R. A. L.; ANDRADE, C. L. T. Qualidade da água na agricultura e no ambiente. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. 31/259, p. 50-57, 2010.

BROWN, M.; CHRISTOPHER, F. Food Security under Climate Change. **Science** 319: 580-581, 2008.

CABRERA, E.; PARDO, A.; CABRERA, E.; COBACHO, R. Agua, Energía y Eficiencia o el Inaplazable Reto de la Sostenibilidad. **VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua**, 2011.

CARMO, R. L.; OJIMA, A.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente e Sociedade** X/1, p. 83-96, 2007.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. p. 147.

DIAS, R.; SILVA, A.; FRACARO, C.; BLEY Jr, C. Utilização de ferramentas livres para gestão donexo água e energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** 30:109-126, 2014.

DOW, K.; ROBERT, E.; CONNOR, O.; YARNAL, B.; CARBONE, G.; JOCOY, C. Whyworry? Community water system manager’s perceptions of climate vulnerability. **Global Environmental Change** 17: 228-237, 2007.

ENDO, A.; BURNETT, K.; ORIENCIO, P.; KUMAZAUA, T.; WADA, C.; ISHII, A.; TSURITA, I.; TANIGUSHI, M. Methods of the Water-Energy-Food Nexus. **Water** 7: 5806-5830, 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Climate Change, Water and Food Security**: Rome, 2011, p. 200.

FAPESPA. Anuário Estatístico do Estado do Pará. 2015. Disponível em [http://www.fapespa.pa.gov.br/anuario\\_estatistico/](http://www.fapespa.pa.gov.br/anuario_estatistico/) Acesso em 19.06.2015.

\_\_\_\_\_. Boletim Agropecuário do Estado do Pará. 2015. Disponível em <http://www.fapespa.pa.gov.br/> Acesso em 30.01.2017.

\_\_\_\_\_. PIB do Estado do Pará. 2015. Disponível em <http://www.fapespa.pa.gov.br/> Acesso em 29.01.2017

\_\_\_\_\_. Estimativas das Perdas de Arrecadação do ICMS de Energia Elétrica no Estado do Pará (2004-2014). 2016. Disponível em <http://www.fapespa.pa.gov.br/> Acesso em 29.01.2017.

FEARNSIDE. P. M. Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**. Manaus. 2/p.295, 2015.

FENZL, N; MENDES, R.; FERNANDES, L. **A sustentabilidade do sistema de abastecimento de água**: da captação ao consumo de água em Belém. Belém: NUMA/UFGA, 2010.

FONSECA, D. D.; SZLAFSZTEIN, C. F. Risco geológico. In: JOÃO, X. J. S.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D. (Org.). Geodiversidade do Estado do Pará. **CPRM**; Belém, 2013, p.119-127.

FRANÇA Jr.; VILLA, M. O Ambiente Geográfico e os Geoindicadores. **Revista Brasileira de Geografia Física** 2: 337-348, 2011.

GIATTI, L.L.; JACOBI, P. R.; FAVARO, A. K.; EMPINOTTI, A. L. O nexos água, energia e alimentos aplicados no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**. 30/88: 43-61, 2016.

GLEICK, P. The world's water, 2000-2001: report on freshwater resources. **Island Press, Washington DC**. 315 p, 2000.

\_\_\_\_\_. On methods for assessing water-resource risks and vulnerabilities. **Environmental Research Letters**. 10: 1-3, 2015.

GOELLNER, C. O uso da água e a agricultura. Researchgate. p.1-9, 2015.

HALBE, J.; PAHL-WOSTL, C.; LANGE, M.; VELONIS, C. Governance of transitions towards sustainable development – the water–energy–food nexus in Cyprus. **Water International** 40(5/6): 877-894, 2015.

HALL, J.; MURPHY, C. Vulnerability analysis of future public water supply under changing climate conditions: a study of the Moy catchment, western Ireland. National University of Ireland Maynooth, Co. Kildare, Ireland, 2010.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science** 162: 3859: 1243 – 1248, 1968.

HELLSTROM, D.; JEPSSON, U.; KARRMAN, E. A framework for systems analysis of sustainable urban water management. **Environmental Impact Assessment Review** 20: 311–321, 2000.

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Metodologia das estimativas da população residente nos municípios brasileiros para 1º de julho de 2011**. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2011, p. 27.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da População: Brasil e Unidades da Federação**. Série Relatórios Metodológicos, v.40. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2013, p. 41.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estados/> Acesso em 04.12.2015.

IDESP, Instituto de Desenvolvimento, Econômico, Social e Ambiental. Estatística municipal. Pará, 2014,49p. Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/index.php/estatistica-municipal/> Acesso em 10/10/2015.

\_\_\_\_\_. Produto Interno Bruto dos Municípios do Estado do Pará 2012. Belém. 1: 1 – 71, 2014.

IEA- International Energy Agency. *Water for Energy: Is energy becoming a thirstier resource?* Excerpt from the World Energy Outlook 2012, 2012. Disponível em:

<[http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb/2012/WEO\\_2012\\_Water\\_Excerpt.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb/2012/WEO_2012_Water_Excerpt.pdf)>. Acesso em: jun. 2016.

IGLESIAS, A.; GARROTE, L.; FLORES, F.; MONEO, M. Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean. **Water Resources Management** 21: 775-778, 2007.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Saneamento no Brasil. São Paulo, 2013. Disponível em <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>

IRENA - International Renewable Energy Agency. Renewable energy in the water, energy and food nexus. IRENA, 2015. p. 128.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science basis**. Contribution of Working group I to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, 2013.

IPEA. Objetivos de desenvolvimento do milênio: relatório de acompanhamento. Brasília: IPEA, 2014, p. 212.

JOÃO, X. J. S.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D. (Org.). Geodiversidade do Estado do Pará. **CPRM**; Belém, 2013, p.256.

KEISKINEN, M.; SOMETH, P. SALMIVAARA, A.; KUMMU, M. Water-Energy-Food Nexus in a Transboundary River Basin: The Case of Tonle Sap Lae, Mekong River Basin. **Water** 7: 5416-5436, 2015.

KUNDDZEWICZ, Z.; MATA, L. Chapter III Fresh Water Resources and the Management. Working Group II: Impacts, adaptation and vulnerability. Climate Change 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. Disponível em [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html)

LECK, H.; CONWAY, D.; BRADSHAW, M.; REES, J. Tracing the Water–Energy–Food Nexus: Description, Theory and Practice. **Geography Compass** 9/8: 445–460 2015.

LIBÂNIO, P.A.; CHERNICHARO, C. A.; NASCIMENTO, N. O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental** 10/3: 219-228, 2005.

LIMA, A.; CRUZ, F.; CAVALCANTE, L.; CHAVES, L.; JUNIOR, M.; SANTOS, V. A Gestão da Oferta Hídrica no Estado do Pará e seus Aspectos Condicionantes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 15: 69-83, 2010.

LIMA, A. O planejamento estratégico e a gestão da oferta hídrica baseados no estudo da paisagem, na bacia do rio Capim – PA. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Socioambiental) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007, p.313.

LINS, C.; BASTOS, L.; VIGNOLI, F.; LEMME, R. (org.). Discutindo o stress nexus no Brasil. **CATAVENTO**: Rio de Janeiro, 2014, p. 40.

MACHEL, J.; PRIOR, K.; ALLAN, R.; ANDRESEN, J. The water energy food nexus – challenges and emerging solutions. **Environmental Science Water Research & Technology** 1: 15-16, 2015.

- MADURGA, L.; ALDAYA, M.; GARRIDO COLMENERO, A.; LOPEZ-GUNN, E. Soluciones para la escasez de la agua en España y su aplicación a otras regiones. **Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales** 103: 41-54, 2009.
- MALDONADO, A. D. R. M. Métodos de valoração econômica ambiental e danos ambientais causados pela bovinocultura de corte. Dissertação (Mestrado em Agronegócio). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2006, p. 73.
- MARCOVITCH, J. (org.), Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades, São Paulo: IBEP Gráfica, 2010, 82 p.
- MARENGO, J. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados** 22: 83-96, 2008.
- MARENGO, J.; NOBRE, C.; TOMASELLA, J.; CARDOSO, M.; OYAMA, M. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. **Biological Sciences** 21: 1-6, 2008.
- MARENGO, J.; JONES, R.; ALVES, L.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, 2009.
- MARENGO, J.; VALVERDE, M. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência** 8: 5-28, 2007.
- MARIANI, L.; GUARENCHI, M.; MITO, J.; CAVALIERO, C.; GALVÃO, R. Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** 37: 9-30, 2016.
- MEKONNEM, M.; HOEKSTRA, A. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hidrology and Earth System Sciences** 15: 1577-1600, 2011.
- MELO JR, H. R.; LIMA, J. B. M. Principais aquíferos do Estado e qualidade de suas águas. In: JOÃO, X. J. S.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D. (Org.). Geodiversidade do Estado do Pará. **CPRM**; Belém, 2013, p.55-73.
- NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**: 25-35, 2011.
- ONU. Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Edição e Tradução do Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília: 1992, p.27.
- PBMC. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. **COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, pp. 464, 2014.
- PEREIRA, S. L. Pecuária bovina de corte no Estado do Pará: água, impactos ambientais e sustentabilidade ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará. Belém, 2012, p. 81.
- PLATONOVA, I.; LEONE, M. El nexos energía-agua en el contexto del cambio climático en los países en desarrollo: Experiencias de América Latina, África Oriental y Austral. **Programa sobre Cambio Climático y Agua**. Ottawa, Canadá, 2012.
- RODRIGUEZ, M. Serviços ecossistêmicos dos recursos hídricos da Região Hidrográfica Amazônica. Dissertação (Mestrado em Economia). Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015, p. 200.

- ROSS, J. Geomorfologia aplicada aos EIAs – RIMAs. In: GUERRA, A. e CUNHA, S. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil: 291-336 2010.
- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará**. Belém: SEMA, 2012. Disponível em: [www.sema.pa.gov.br](http://www.sema.pa.gov.br)
- SILVA, P.J. Usinas hidrelétricas do século 21: empreendimentos com restrições à hidroeletricidade. **Revista de Engenharia** 619/ 83-90, 2014.
- SOMLYODY, L; VARIS, O. Fresh water under pressure. **International Review for Environmental Strategies** 6(2): 181-204, 2006.
- STRASSER, L.; LIPONNEN, A.; HOWELLS, M.; STEC, S.; BRÉTHAUT, C. A Methodology to Assess the Water Energy Food Ecosystems Nexus in Transboundary River Basins. **Water**8, 59; 2016.
- SULLIVAN, A. Quantifying water vulnerability: a multidimensional approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. 25: 627-640, 2011.
- TUNDISI, J. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados** 22: 7-16, 2008.
- TUCCI, C.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. A Gestão da água no Brasil: Uma Primeira Avaliação da Situação Atual e das Perceptivas para 2025. Brasília: **UNESCO**. 156 p, 2001.
- TURNER, B.; KASPERSONB, E.; MATSONE, A.; MC CARTHYF, J.; CORELLG, R.; CHRISTENSENE, L.; ECKLEYG, N.; KASPERSONB, J.; LUERSE, A.; MARTELLO, M.; POLSKYA, C.; PULSIPHERA, A.; SCHILLERB, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability Science. **PNAS** 100: 8074-8079, 2003.
- VILLAMAYOR-TOMAS, S.; GRUNDMANN, P.; EPSTEIN, G.; EVANS, T.; KIMMICH, C. The Water-Energy-Food Security Nexus through the Lenses of the Value Chain and the Institutional Analysis and Development Frameworks. **Water Alternatives** 8: 735-755, 2015.
- VOROSMARTY, C.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. **Science** 289: 285-289, 2000.
- UNESCO - United Nations World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2014: **Water and Energy**, 2014. v. 1. Paris: UNESCO, 2014. p. 230.
- WANG, X.; ZHANG, J.; SHAHID, S.; GUAN, E.; WU, Y.; GAO, J.; HE, R. Adaptation to climate change impacts on water demand. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 21: 81–99, 2016.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris, 2015. Disponível em <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>
- WEF - World Economic Forum. Water Security: The Water- Food-Energy-Climate Nexus. World Economic Forum Water, 2011a. p. 272.
- WEF - World Economic Forum. Global Risks 2011. An initiative of the risk response network. **World Economic Forum**, 6th ed., 2011b. p. 60.

WMO – World Meteorological Organization. High Level Segment at COP 18 Kicks off. Daily news: 4 December 2012. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/cop18/dailynews/20121204.php>

YANG, Y.; WI, S.; RAY, P.; BROWN, C. KHALIL, A. The future nexus of the Brahmaputra River Basin: Climate, water, energy and food trajectories. **Global Environmental Change** 37: 16–30, 2016.

ZHOU, Y.; HEJAZI, M.; SMITH, S.; EDMONDS, J.; LI, H.; CLARKE, L.; CALVINA, K.; THOMSONA, A. A comprehensive view of global potential for hydro-generated electricity. **Energy Environmental Science** 8: 2622-2633, 2015.