



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA PARAÍBA
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DOS
RECURSOS AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO.**

ALESSANDRO MICHELL DE ARAUJO SILVA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO BAIXO CURSO DO RIO
AÇU, SEMIÁRIDO POTIGUAR**

**PICUÍ - PB
2022**

ALESSANDRO MICHELL DE ARAUJO SILVA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO BAIXO CURSO DO RIO
AÇU, SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de especialização em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, do Instituto Federal da Paraíba – Campus Picuí, em cumprimento às exigências parciais para a obtenção do título de Especialista em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido.

ORIENTADOR (A): Ms. Filipe Ezequiel da Silva

**PICUÍ - PB
2022**

Dados Internacionais de Catalogação
Biblioteca – IFPB, Campus Picuí

S586m Silva, Alessandro Michell de Araújo.

Mapeamento de áreas de inundação no baixo curso do rio Açu, semiárido potiguar. / Alessandro Michell de Araújo Silva. – Picuí, 2022.

65 f; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização - Gestão em Recursos Ambientais do Semiárido – GRAS) – Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, IFPB – Campus Picuí/Coordenação de Pós Graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, 2022.

Orientador: Ms. Filipe Ezequiel da Silva

1. Inundações. 2. Nordeste – semiárido. 3. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDU 551.311.2

Elaborada por Alini Casimiro Brandão – CRB 000701

ALESSANDRO MICHELL DE ARAUJO SILVA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO BAIXO CURSO DO RIO
AÇU, SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de especialização em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, do Instituto Federal da Paraíba – Campus Picuí, em cumprimento às exigências parciais para obtenção do título de Especialista em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido.

Aprovada em 30 / 03 / 2022

Prof. Ms. Filipe Ezequiel da Silva (Orientador)
IFPB, Picuí

Prof. Msc. Mario Henrique Medeiros Cavalcante de Araújo
IFPB, Picuí

Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho
UERN, Mossoró

Dedico a minha família, a qual sempre esteve me incentivando a alcançar mais essa conquista!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por ter me permitido chegar a mais esse momento importante da minha vida. O caminho até aqui foi repleto de obstáculos, momentos de alegria e também difíceis, que fizeram com que essa conquista fosse ainda maior.

Agradeço a minha família, pois sem eles eu não teria chegado a lugar algum em minha vida. Aos meus pais, Solange e Fábio, por terem me direcionado pelos caminhos certos da vida, me incentivando a buscar sempre mais e a alcançar meus objetivos. Aos meus irmãos, Alessandra, John Lenon e Rodolfo, por também sempre me apoiarem e a me motivarem diante das dificuldades. Aos meus sobrinhos, Maria Luíza e Heitor Miguel, por serem a fonte de alegria e motivação da família. Deixo meus agradecimentos também a minha noiva, Maria Tatianny de Oliveira Vasconcelos, por todo o apoio e incentivo realizado durante o curso e, principalmente, durante o desenvolvimento da pesquisa.

Deixo meus agradecimentos, também, ao curso de Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, por todos os conhecimentos construídos através dos docentes e de toda a estrutura disponibilizada para que isso fosse possível. Agradeço a cada servidor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-Campus Picuí. Muito obrigado!

Externo meus agradecimentos também ao meu orientador, professor Ms. Filipe Ezequiel, por todo o apoio no desenvolvimento da pesquisa e todos os conhecimentos compartilhados, tendo sido esse momento de grande importância na minha formação.

Aos professores Rodrigo Guimarães de Carvalho e Mario Henrique Medeiros Cavalcante de Araújo, por todas as contribuições extremamente relevantes para o trabalho, tendo a certeza de que todos os apontamentos serão de grande importância para a melhoria do trabalho e de sua possível continuação em outro momento.

Por fim, quero agradecer a turma da qual faço parte, 2019, ressaltando todos os momentos vivenciados no IFPB, desde os momentos dos lanches coletivos até os das aulas e trabalhos. Foi um prazer imenso ter conhecido todos vocês, todos contribuíram de forma positiva na minha formação, desejo muito sucesso a todos!

“(...) Os desastres naturais são determinados a partir da relação entre homem e natureza. Em outras palavras, desastres naturais resultam das tentativas humanas em dominar a natureza, que, em sua maioria, acabam derrotadas”.

Kobiyama et. al., 2006, p. 1.

RESUMO

Os episódios de inundações são marcados por grandes níveis de precipitações concentradas em um curto espaço de tempo, o que confere sobrecarga no processo de escoamento da água e promove o transbordamento dos canais fluviais. O baixo curso do rio Açu está entre as áreas do semiárido afetadas por esses eventos, sofrendo diversos problemas sociais, econômicos e urbanos. Diante disso, essa pesquisa teve por objetivo identificar a área máxima de inundação para o baixo curso do rio Açu, além do crescimento urbano das sedes municipais em direção a essa área. Os materiais e métodos adotados foram a utilização de técnicas de geoprocessamento de imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 e 7 para a identificação e delimitação das áreas de inundação na região. Usou-se também a ferramenta Google Earth na realização do mapeamento de pontos localizados sob essas áreas de risco e na identificação do crescimento urbano em direção a essas áreas. Como resultados alcançados com a pesquisa, obtivemos o mapa de máxima inundação para a região do baixo curso do rio Açu e a identificação das áreas urbanas afetadas em cada município, além da quantidade de pontos localizados sob essas áreas. A partir dos resultados da pesquisa identificou-se que a maior parte dos municípios da região possuem áreas de vulnerabilidade a inundações, sendo os municípios de Ipanguassú, Alto do Rodrigues e Macau os que apresentaram maiores áreas afetadas, e maior quantidade de pontos localizados sob as mesmas, e Afonso Bezerra e Itajá os menos afetados em áreas e pontos afetados. Além disso, também se identificou que o processo de urbanização sob áreas de inundação ainda vem ocorrendo na região, tendo por principal sede municipal identificada nesse processo Ipanguassú, que apresentou 66% da sua área total situada sob área de risco a inundações. Com isso, a realização desse estudo possibilitou a obtenção de informações sobre a dimensão dos eventos de inundação para o baixo Açu, assim como também a identificação das áreas mais afetadas e que continuam a crescer em direção as áreas de risco. Os resultados se mostraram relevantes por apresentarem dados que, além de corroborarem com outras pesquisas, podem ser utilizados enquanto fonte de dados que podem fornecer informações sobre as áreas de vulnerabilidade a inundações, possibilitando dessa forma, o planejamento mais adequado a realidade da região e, conseqüentemente, a diminuição dos danos sociais, econômicos e urbanos na área.

Palavras-chave: Nordeste. Inundações. Rio Açu. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The episodes of flooding are marked by high levels of precipitation concentrated in a short period of time, which imposes an overload on the water flow process and promotes the overflow of river channels. The lower course of the Açu River is among the semiarid areas affected by these events, suffering various social, economic and urban problems. Therefore, this research aimed to identify the maximum flooding area in the lower course of the Açu River, in addition to the urban growth of the municipal seats towards this area. The materials and methods adopted were the use of geoprocessing techniques of multispectral images from Landsat 5 and 7 satellites for the identification and delimitation of flood areas in the region. The Google Earth tool was also used to map points located under these risk areas and to identify urban growth towards these areas. As results achieved by the research, we obtained the maximum flood map for the region of the lower course of the Açu River and the identification of the urban areas affected in each municipality, in addition to the number of points located under these areas. Based on the research results, it was identified that most municipalities in the region have areas of vulnerability to floods, with the municipalities of Ipanguassú, Alto do Rodrigues and Macau being the ones with the largest affected areas, and the largest number of points located under the same, and Afonso Bezerra and Itajá the least affected in areas and points affected. In addition, it was also identified that the process of urbanization under areas of flooding is still taking place in the region, with the main municipal seat identified in this process being Ipanguassú, which presented 66% of its total area located under an area of risk to floods. With this, the accomplishment of this study made it possible to obtain information on the dimension of the flood events for the lowest Açu, as well as the identification of the most affected areas and that continue to grow towards the risk areas. The results were relevant because they present data that, in addition to corroborating other research, can be used as a source of data that can provide information on areas of vulnerability to floods, thus enabling the most appropriate planning to the reality of the region and, consequently, the reduction of social, economic and urban damages in the area.

Keywords: Northeast. Flooding. Açu River. Vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Estrutura dos Vales Fluviais.....	16
Ilustração 2 – Tipos de rios e suas relações com o lençol freático	17
Ilustração 3 – Estrutura do rio	19
Ilustração 4 – Diferenciação dos fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos.....	23
Ilustração 5 – Percentual de precipitação (1961-1990) e de dias com déficit hídrico (1970-1990) no semiárido.....	24
Ilustração 6 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu.....	29
Ilustração 7 – Mapa da área de estudo.....	30
Ilustração 8 – Estruturas, por município, afetadas em episódios de cheia no Baixo Açu.....	35
Ilustração 9 - Mapas de perigo contendo os indicadores (a) profundidade, (b) velocidade, (c)duração e (d) perigo geral para o tempo de retorno de 5 anos (I)	36
Ilustração 10 - Mapas de perigo contendo os indicadores (a) profundidade, (b) velocidade, (c)duração e (d) perigo geral para o tempo de retorno de 100 anos (II)	36
Ilustração 11 – Representação da interpretação realizada através das imagens de inundação.....	38
Ilustração 12 (a-b) – Municípios de Ipanguassú e Macau e suas áreas não afetadas.....	42
Ilustração 13 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Assú.....	45
Ilustração 14 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Ipanguassú.....	46
Ilustração 15 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Carnaubais.....	48
Ilustração 16 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Alto do Rodrigues.....	49
Ilustração 17 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Pendências.....	51
Ilustração 18 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Macau.....	53
Ilustração 19 – Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Porto do Mangue.....	54
Ilustração 20 – Comparação entre as áreas inundadas em Alto do Rodrigues entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008.....	56
Ilustração 21 – Comparação entre as áreas inundadas em Pendências entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008.....	56

Ilustração 22 – Comparação entre as áreas inundadas em Ipanguaçu entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008.....	57
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de pontos afetados, por município, em episódios de inundação na região do Baixo Piranhas-Açu.....	43
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change

GPS – Global Positioning System

NEB – Nordeste Brasileiro

SIG – Sistema de Informações Geográficas

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	15
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Rios e inundações fluviais	16
2.2	A problemática das inundações em ambientes urbanos	21
2.3	Aspectos climáticos da região nordeste	24
2.4	Geotecnologias e suas aplicações em estudos sobre inundações	27
	Baixo curso do rio piranhas-açu	29
2.4.1	<i>Episódios de inundações na região do baixo curso do rio Piranhas-Açu</i> ...	33
3.	METODOLOGIA	37
4.	RESULTADOS	41
5.	DISCUSSÕES	58
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

O semiárido Brasileiro apresenta condições climáticas distintas das demais áreas do país. Apesar de apresentar as quatro estações do ano, na região costuma-se distinguir apenas em período seco e período chuvoso. O período de estiagem ou quadra seca, tem duração de 7 a 8 meses, dependendo da localidade, sendo caracterizado por altas temperaturas e intenso processo de evapotranspiração, o que ocasiona escassez hídrica na região. Devido essa característica climática, a região passou a ser estigmatizada no imaginário popular como uma região extremamente seca e, conseqüentemente, pobre.

Já o período chuvoso, momento esperado pela população, apresenta regime de precipitação irregular, variando anualmente a quantidade e a distribuição das chuvas. Em alguns anos, a região apresenta precipitações acima da média e outros bem abaixo do que se espera. Em decorrência dessa variabilidade, a região, além de apresentar longos períodos de seca, também está condicionada a ocorrência de grandes episódios de precipitação.

Esses episódios são marcados por chuvas intensas e altos índices de pluviosidade, concentradas em determinado período de tempo. Muitas vezes, os níveis de precipitações ocorridas em um ou dois dias equivale ao esperado para todo o mês correspondente, ocasionando dessa forma o surgimento de episódios de alagamentos, enchentes e inundações.

O semiárido apresenta a ocorrência desses eventos, porém ainda são poucos os estudos sobre eles. Isso, provavelmente, acontece pelo fato da recorrência deles na região levar alguns anos, diferentemente de outras regiões do país que sofrem constantemente com eventos do tipo. Dentre as áreas afetadas na região, o baixo curso do rio Açu Ilustração entre as que sofrem com esses eventos. Trata-se de uma importante área econômica do Rio Grande do Norte que merece maior atenção com relação aos episódios de inundação.

Diante do contexto do país, onde alguns municípios e estados já adotam políticas de minimização dos impactos de eventos de inundação e de coleta de informações sobre os mesmos, se acredita que essa região ainda necessita de políticas que possibilitem que a população não sofra as conseqüências de novos episódios de inundação.

A partir dessa contextualização, percebe-se a importância da realização de estudos que possibilitem o conhecimento sobre esses eventos de inundação e seus impactos para a área de estudo. Portanto, esse estudo se deu pelo fato de que o baixo curso do rio Açu, por ser uma importante região econômica do estado do Rio Grande do Norte, necessita de estudos que compreendam os eventos de inundação na região, além de identificar as áreas consideradas de vulnerabilidade a esses eventos e com isso promover a obtenção de informações que possibilitem o desenvolvimento da região a partir do conhecimento das possíveis áreas de vulnerabilidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 *Objetivo Geral*

Identificar a área máxima de inundação para o baixo curso do rio Açu, além do crescimento urbano das sedes municipais em direção a essa área.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Definir, através de imagens orbitais a área de inundação máxima do baixo curso do rio Açu;
- Identificar, através de imagens de alta resolução o crescimento urbano em áreas de inundação;
- Identificar imóveis, através de imagens de alta resolução, inseridos na sede municipal dos municípios afetados.

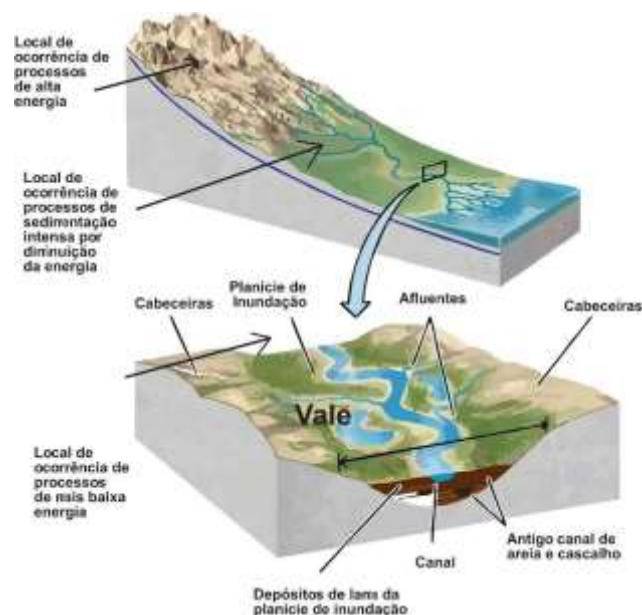
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Rios e inundações fluviais

Os rios são elementos indispensáveis à dinâmica hidrológica do mundo, sendo eles os maiores responsáveis pelo escoamento da água precipitada na superfície terrestre, influenciando também na modelagem do relevo. Os rios constituem os agentes mais importantes no processo de intemperismo e no transporte desse material das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar, sendo ele o modelador natural do relevo (CHRISTOFOLETTI, 1980). Além disso, também pode ser definido como uma corrente líquida que seria resultado da saturação do lençol freático presente em um vale (GUERRA E GUERRA, 2008). Podem se originar da água da chuva, ocorrendo através da junção de vários filetes, de fontes, da fusão de neve e geleiras ou ainda de emissários de lagos.

Esse processo de escoamento da água através do relevo, fazendo o transporte dos materiais presentes no solo, dá origem ao Vale. O vale fluvial é toda a área localizada entre os topos de encostas existentes em ambos os lados do rio, e podem ter o formato em V ou em U, quando o perfil é mais aberto (Ilustração 1). Localizado no fundo dos vales está o canal fluvial, região por onde a água do rio principal escoar (PRESS et. al, 2006).

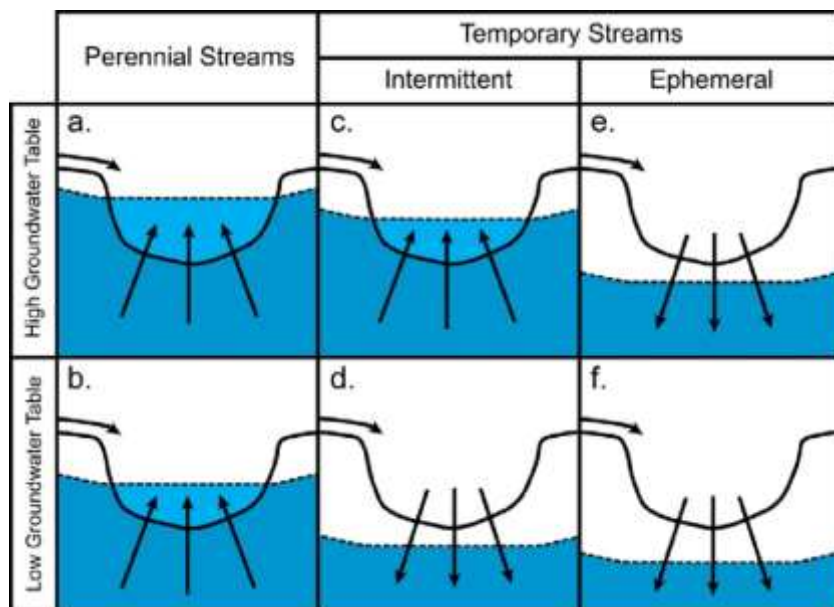
Ilustração 1 – Estrutura dos Vales Fluviais



Fonte: PRESS et. al, 2006.

Dentro das definições sobre os tipos de rios, três delas vão ter mais destaque principalmente na região semiárida: Rios Intermitentes, Rios Efêmeros e Rios Perenes (Ilustração 2). O primeiro pode ser definido como sendo um rio temporário, que dura poucos dias com o seu fluxo de água após a passagem das chuvas. O segundo, também enquadrado como temporário, tem sua duração momentânea, só apenas no momento em que ocorre a precipitação. Já o terceiro, é aquele em que o fluxo de água acontece de forma constante, mesmo em períodos sem a ocorrência de precipitações (GUERRA e GUERRA, 2008).

Ilustração 2 – tipos de rios e suas relações com o lençol freático



Fonte: McDonough, O.T. & Hosen, Jacob & Palmer, Margaret. (2011). Temporary streams: The hydrology, geography, and ecology of non-perennially flowing waters. *River Ecosystems: Dynamics, Management and Conservation*. 259-290.

Quando buscamos obter informações sobre os cursos d'água ou recursos hídricos de determinada região, temos como unidade geográfica de estudo a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica pode ser definida como sendo a área de captação natural da água precipitada, que escoam pelas redes de drenagem até alcançarem seu ponto final, o exutório (SILVEIRA, 2001). A rede de drenagem se moldará de acordo com o relevo local, convergindo para um único canal que levará a maior parte da água precipitada.

Os canais fluviais são o caminho principal que levará a água da rede de drenagem da bacia até o oceano. À medida que um canal fluvial começa a se moldar no fundo de um vale, ele passa a adquirir diferentes formas que variam de

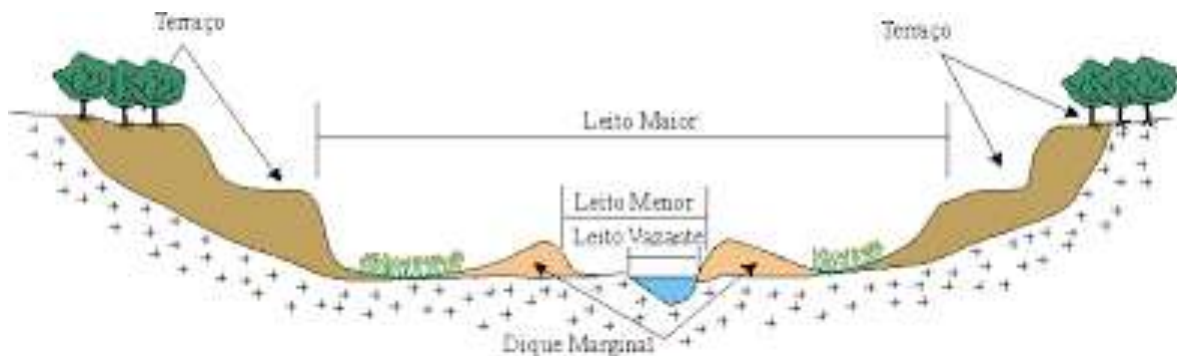
acordo com os caminhos encontrados pela água, tendo em alguns trechos um padrão retilíneo e outros uma trajetória tortuosa e irregular, algumas vezes originando até novos canais (PRESS ET. AL. 2006). Esses canais são denominados rios tributários, que são aqueles rios menores, que lançam suas águas no rio principal da bacia hidrográfica. Eles vão se formando ao longo da bacia, a partir das redes de drenagem, e são os responsáveis pela recarga do rio principal (PRESS et. al,2006).

Essa formulação de tipos de canais é utilizada com o intuito de se determinar o arranjo espacial que o leito apresenta ao longo do rio. Os mais abordados pelos pesquisadores, sendo considerados os modelos padrões de canais, são o canal meandrante, o anastomosado e o reto. O meandrante, um dos modelos de canais mais estudados, é aquele em que o rio promove curvas sinuosas, largas, harmoniosas e com um certo padrão entre si (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O sistema fluvial meandrante é caracterizado por apresentar alta sinuosidade em seus canais, tendo uma razão largura/profundidade no canal menor que 40 e predominando o transporte de carga por suspensão. Esse tipo de canal possui uma ativa dinâmica fluvial com os demais elementos presentes na área, estando interrelacionado com as demais estruturas, a exemplo das planícies de inundação e dos terraços fluviais (RICCOMINI, GIANNINI E MANCINI, 2001).

Já relativo aos tipos de leitos, os mesmos são classificados em leito menor, leito de vazante e leito maior (Ilustração 3). O primeiro corresponde a área do canal ocupada pela água, onde a frequência fluvial impede o crescimento de vegetação. O segundo corresponde a parte do rio que é ocupada quando há escoamento de águas de vazante, que ocorre através do canal fluvial. O terceiro, o leito maior, é a área ocupada pelo canal fluvial nos períodos de cheias do rio. Ele ainda pode ser classificado com excepcional, que seria a área ocupada pelas águas após a incidência de episódios de inundações (CORRÊA e COSTA, 2016; CUNHA, 2011).

Ilustração 3 – Estrutura do rio



Fonte: Gonçalves, Luciana & Ribeiro, Rochele (2017).

Com relação a planície de inundação, pode ser definida como sendo a faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, ficando as margens do curso de água e que periodicamente são inundadas nos períodos de transbordamento da água do rio. É uma área considerada de alto grau de fertilidade, sendo composta de diversos tipos de sedimentos e de solo rico em matéria orgânica. Já os terraços fluviais nada mais são do que antigas planícies de inundação que foram abandonadas ao decorrer do tempo. Estão situados em níveis acima do canal fluvial, estando isolados até mesmo em épocas de cheia. Tem uma base sedimentar originada por processos de erosão e deposição de sedimentos de quando ainda estava interligado ao sistema da planície de inundação (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Assim como as planícies de inundação, conhecidas pelo seu alto nível de fertilidade e de interação com o meio, o estuário também é um importante elemento na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica. Estuário é a forma de desaguadouro de um rio no oceano, com a característica de saída única, e que, a partir da interação com as correntes marinhas e as marés a acumulação de detritos na área se torna inviável, diferentemente do que acontece no modelo delta (GUERRA e GUERRA, 2008).

Todos esses elementos apontados anteriormente estão correlacionados aos episódios de inundação fluvial. As inundações fluviais são fenômenos totalmente dependentes das condições climáticas e agravados a partir da intervenção antrópica. Esse fenômeno ocorre quando os rios recebem uma carga d'água acima da média, fazendo com que a água transborde os limites do canal

fluvial e ocupe as planícies próximas, a exemplo das planícies de inundação. Entre os fatores naturais responsáveis por esse evento, temos os períodos anômalos de chuvas sobre a bacia de drenagem e o conseqüente aumento do nível de águas dos cursos fluviais, que, por conseqüente, inundam áreas de plantio e reduzem a oferta de água potável, além de causar destruição de ambientes urbanos (RICCOMINI, GIANNINI e MANCINI, 2001).

2.1 A problemática das inundações em ambientes urbanos

Historicamente, o processo de ocupação das margens de rios se deu pelo fato dele ser uma importante via de transporte e dispor de água para o consumo humano. Além disso, geralmente essas regiões apresentam condições propícias à fixação do homem, pelo fato de possuírem terras planas para a ocupação. Daí o surgimento de cidades as margens de rios, por uma necessidade enfrentada outrora pelas populações (TUCCI, 2003).

Na maioria dos casos, a população urbana de maior poder aquisitivo tende a ocupar as áreas mais seguras da cidade, enquanto as famílias carentes ocupam as áreas de alto risco de inundações, estando vulneráveis aos problemas ocasionados sempre que acontecem episódios (TUCCI, 2003). Esta ocupação gerou (e vem gerando) a impermeabilização excessiva do solo urbano, aumentando assim o escoamento artificial e originando um número maior de áreas com enchentes, geralmente nas porções mais periféricas da cidade (COSTA, 2010).

Apesar de estarmos situados no semiárido nordestino, visto apenas pela problemática da seca, também é muito comum a ocorrência de inundações, enchentes e enxurradas causadas por eventos climáticos extremos de precipitação, que promovem a ocorrência de chuvas intensas (MEDEIROS E ZANELLA, 2018). Normalmente, as inundações provocam grandes danos materiais e, dependendo de sua violência, graves danos urbanos. Quando extensas, as inundações destroem ou danificam plantações e exigem um grande esforço para garantir o salvamento de animais, especialmente bovinos, ovinos e caprinos. Em áreas densamente habitadas, podem danificar ou destruir habitações mal localizadas e pouco sólidas, bem como danificar móveis e outros utensílios domésticos (BRASIL, 2003).

Com relação à concepção de inundação, Kobiyama *et. al.* (p. 45, 2006) destaca que “a inundação, popularmente tratada como enchente, é o aumento do nível dos rios além de sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele”. O Autor ainda enfatiza que há uma diferenciação entre o evento de inundação e o de enchente, ressaltando que “Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio,

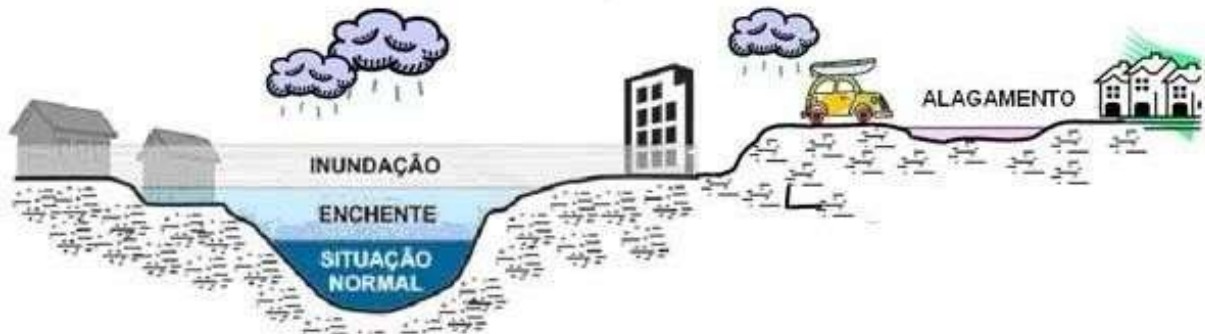
tem-se uma enchente e não uma inundação. Por esta razão, no mundo científico, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferenciação” (KOBİYAMA *et. al.* P. 46, 2006). Além disso, “a extensão das inundações sobre as áreas de várzea depende da topografia das áreas próximas aos rios, ocorrendo de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais” (PEREIRA e SILVA, p. 26, 2007). Esse processo, em áreas urbanas, ocorre a partir do momento em que as redes de drenagem urbanas ficam sobrecarregadas e não conseguem realizar o escoamento da água, fazendo com que ela passe a ocupar e afetar casas, comércios, indústrias, além das vias urbanas (TUCCI, 2003).

Em outra concepção, a inundação, que popularmente é tratada como enchente, seria o aumento do nível do rio além de sua capacidade de vazão normal, ocorrendo dessa forma o transbordamento de sua água para as áreas próximas. Cabe destacar que há uma diferenciação entre os eventos citados (enchente e inundação) sendo o primeiro caracterizado apenas pela cheia do rio, e o segundo pelo transbordamento dessa água para as áreas próximas as margens do rio. No mundo científico, estes termos devem ser usados com diferenciação (KOBİYAMA *et. al.* 2006).

As planícies de inundação são áreas planas próximas aos rios que ficam submersas quando ocorrem enchentes. É caracterizada por ser uma área com grande quantidade de deposição de sedimentos, desenvolvimento de vegetação e formação de horizontes de solo, sendo uma área rica em fertilidade (RICCOMINI, GIANNINI E MANCINI, 2001). Devido a essas características essa área passou a ser ocupada rapidamente.

Os fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos possuem sua diferenciação na forma como ocorrem (Ilustração 4). O primeiro corresponde ao processo de aumento da água do rio até a altura das suas margens. Quando ocorre o transbordamento dessa água, o fenômeno passa a ser denominado inundação. Já o alagamento é caracterizado pelo acúmulo de água, a partir de chuvas intensas, em áreas totalmente ou parcialmente impermeabilizadas (MACÊDO E SANTOS, 2021).

Ilustração 4 – Diferenciação dos fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos



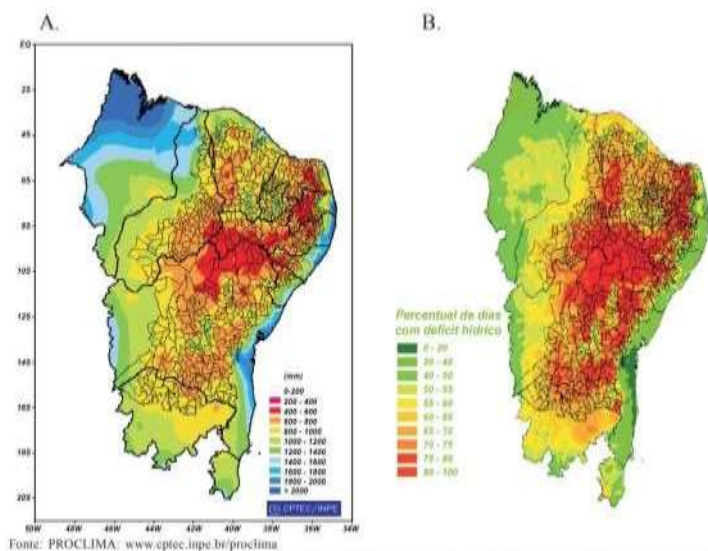
Fonte: <https://www.cacapava.sp.gov.br/defesa-civil>

2.2 Aspectos climáticos da região Nordeste

A questão climática do Nordeste Brasileiro e, conseqüentemente, do semiárido, é alvo intenso de estudos e pesquisas que buscam compreender sua dinâmica e funcionamento. Tendo em vista a sua localização, extremo leste da América do Sul tropical, o NEB está predisposto a influência de fenômenos meteorológico que lhe proporcionam características climáticas peculiares e únicas entre os semiáridos existentes no mundo (MOLION e BERNARDO, 2002)

O clima na região é considerado um dos principais fatores de influência na formação das demais características da área, como na variação de solos, vegetação e recursos hídricos. Sendo que a ele estão adaptados a vegetação e a formação do relevo, com o predomínio da interação sobre os processos e de acordo com a época do ano (ARAÚJO, 2011). Essa variação climática faz com que a região apresente realidades diferentes, como de áreas que passam por longos períodos de seca até áreas que possuem índices consideráveis de precipitação durante boa parte do ano (Ilustração 5).

Ilustração 5 – Percentual de precipitação (1961-1990) e de dias com déficit hídrico (1970-1990) no semiárido



Fonte: PROCLIMA: www.cptec.inpe.br/proclima
Figura 13.1 Mapa de precipitação no período de 1961 - 1990 em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período 1970 - 1990 em % (B)

Fonte: <http://proclima.cptec.inpe.br/#>

Dentre os mecanismos dinâmicos que influenciam nas chuvas do Nordeste, cerca de 30% a 80% das precipitações, dependendo da área, são formadas pelos mecanismos de grande escala, a exemplo da Zona de Convergência Intertropical

(ZCIT) e dos sistemas frontais. Os demais mecanismos, classificados como de Mesoescala e de Microescala, são os responsáveis por complementar o restante das precipitações. Os mecanismos de Mesoescala estão correlacionados às brisas marítimas e terrestres, às perturbações ondulatórias dos ventos alísios, entre outros. Já os de Microescala seriam as circulações orográficas e pequenas células conectivas (MOLION E BERNARDO, 2000).

Esses mecanismos, responsáveis pelo regime de chuvas na região Nordeste, são influenciados pelos fenômenos do El Niño e do La Niña, tendo nessa influência a variação das suas atuações e de suas intensidades. Esses dois fenômenos estão associados a anomalias nas temperaturas da superfície do oceano pacífico, sendo o primeiro responsável pelo aquecimento anormal e o segundo pelo resfriamento. Estima-se que esses fenômenos aconteçam de forma alternada, variando entre períodos de 2 a 7 anos, tendo evidências de que o La Niña tem ocorrido com bem menos frequência nas últimas décadas. A duração normal do El Niño é entre 12 a 18 meses e do La Niña é entre cerca de 9 a 12 meses (FREIRE, LIMA E CAVALCANTI, 2011). Eles atuam em escala global, influenciando na temperatura e na precipitação das regiões, tendo participação na ocorrência de extremos climáticos. Medeiros (2018) ressalta que:

Grande parte dos eventos extremos ligados ao clima é influenciada pela variabilidade climática, assim fenômenos como *El niño*, *La niña*, Dipolo do Atlântico, podem alterar os padrões das variáveis do clima, como a elevação ou diminuição das temperaturas, interferência na velocidade e direção dos ventos e, principalmente, na quantidade e distribuição das precipitações pluviométricas (MEDEIROS, 2018, p. 48).

De acordo com dados do relatório de mudanças climáticas do IPCC de 2021, as mudanças climáticas têm afetado todas as partes do mundo, destacando-se a influência antrópica nesse processo. Segundo informações do relatório, em sua síntese de avaliação da mudança para eventos extremos quentes, a região Nordeste apresentou uma tendência de aumento na ocorrência desse tipo de evento e que a contribuição humana para essa mudança foi classificada como média.

Já na síntese de eventos extremos de precipitação para a região, mencionadas no mesmo relatório, não foi possível determinar informações pelo fato de se ter pouca literatura e produção científica que forneçam uma base de informações concretas sobre esses eventos para a região. Em decorrência disso,

também não foi possível determinar a contribuição humana para esse tipo de evento na região. Dessa forma, percebe-se a importância dos estudos sobre eventos extremos de precipitação para a região, pois através deles pode-se fornecer informações que facilitem a compreensão da sua dinâmica regional.

2.3 Geotecnologias e suas aplicações em estudos sobre inundações

Com o advento da revolução técnico-informacional diversas áreas da sociedade passaram por um processo de informatização, tornando o acesso à informação mais prático e abrangente para a população. Para a ciência, esses avanços possibilitaram o desenvolvimento de tecnologias que passaram a contribuir ainda mais nas pesquisas. As geotecnologias surgiram dentro do propósito de modernização dos procedimentos de obtenção, processamento e armazenamento de informações geográficas. As geotecnologias podem ser definidas como o conjunto de tecnologias utilizadas para a coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referências geográficas (ROSA, 2013).

Os Sistemas de Informação Geográfica ou SIG, como são mais conhecidos, são sistemas que permitem a obtenção, gestão e representação do espaço e dos fenômenos que nele acontecem a partir de dados geográficos. Esses dados podem ser obtidos de diferentes formas, como através de GPS, de sensoriamento remoto, de aerofotogrametria, entre outras. Já o tratamento da informação acontece através do Geoprocessamento, que pode ser definido como um conjunto de tecnologias com o objetivo de coletar e tratar informações espaciais (ROSA, 2013). Entre as tecnologias componentes do geoprocessamento temos os Hardwares (equipamentos) e os Softwares (programas).

A utilização dessas tecnologias tem possibilitado a análise de diversas situações ambientais, como situações de risco, potenciais de uso, necessidade de proteção e de impacto e de ordenação geoeconômica, permitindo, dessa forma, caracterizar um ambiente voltado para o uso sustentável dos seus elementos (XAVIER DA SILVA, 2000). Atualmente, existem diversos softwares destinados a essa função e que vem sendo utilizados frequentemente no desenvolvimento de estudos relacionados a inundação no Brasil (COSTA, 2010).

No semiárido, pesquisas utilizando-se desses recursos veem sendo desenvolvidas, principalmente em áreas afetadas por episódios de inundação. Costa (2010) desenvolveu seu estudo na cidade de Pau dos Ferros – RN, apresentando, através da utilização de geotecnologias, áreas que vem sendo afetadas por episódios de inundação nos últimos tempos e o crescimento urbano

sobre essas áreas. Já o estudo de Neves et. al. (2016) abordou a utilização do VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para o monitoramento de cheias na bacia do rio Piranhas-Açu, apresentando um alto potencial de utilização de mais essa ferramenta no monitoramento de eventos de inundação.

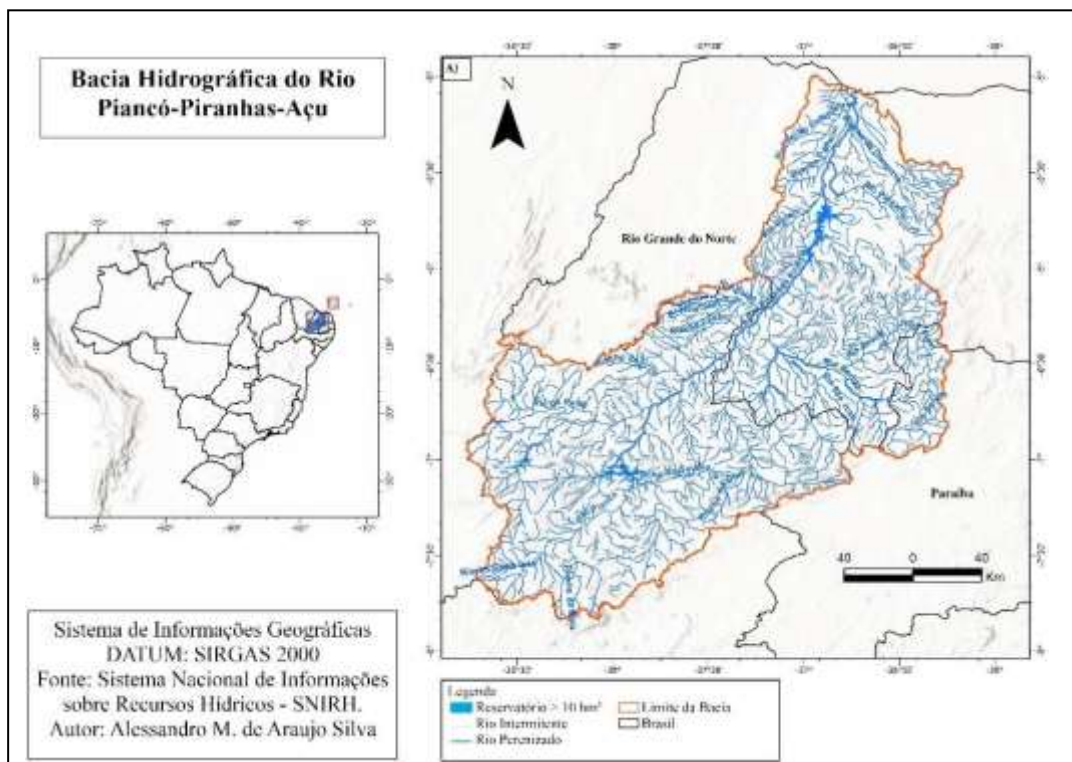
O estudo de Oliveira (2017) teve como principal contribuição a identificação dos principais usos da terra atingidos em episódios de inundação na região do baixo curso do rio Piranhas-Açu, utilizando-se de imagens de satélites e da produção de mapas de representação dos resultados obtidos.

Medeiros (2018) também desenvolveu seu estudo na região do baixo curso do rio Piranhas-Açu e teve por objetivo analisar a vulnerabilidade socioambiental dos municípios da região, determinando o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e das estimativas de áreas inundadas para um período de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos realizadas através de modelagem hidrodinâmica. Já o outro estudo desenvolvido por Medeiros e Zanella (2018), teve o objetivo de estimar as cotas de inundação para a região do baixo curso do Piranhas-Açu a partir do estudo das vazões do rio, utilizando-se a modelagem hidrológica.

2.4 Baixo curso do rio Piranhas-Açu

A bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu compreende os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, possuindo uma área total de 43.683 Km² (Ilustração 6). Está totalmente inserida em território de clima semiárido, apresentando chuvas concentradas em poucos meses do ano e um padrão de forte variabilidade interanual, caracterizado pela alternância entre anos de pluviosidade acima da média, regular e anos consecutivos de valores abaixo da média, que resultam em secas prolongadas e baixa disponibilidade hídrica (BRASIL, 2016).

Ilustração 6 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu



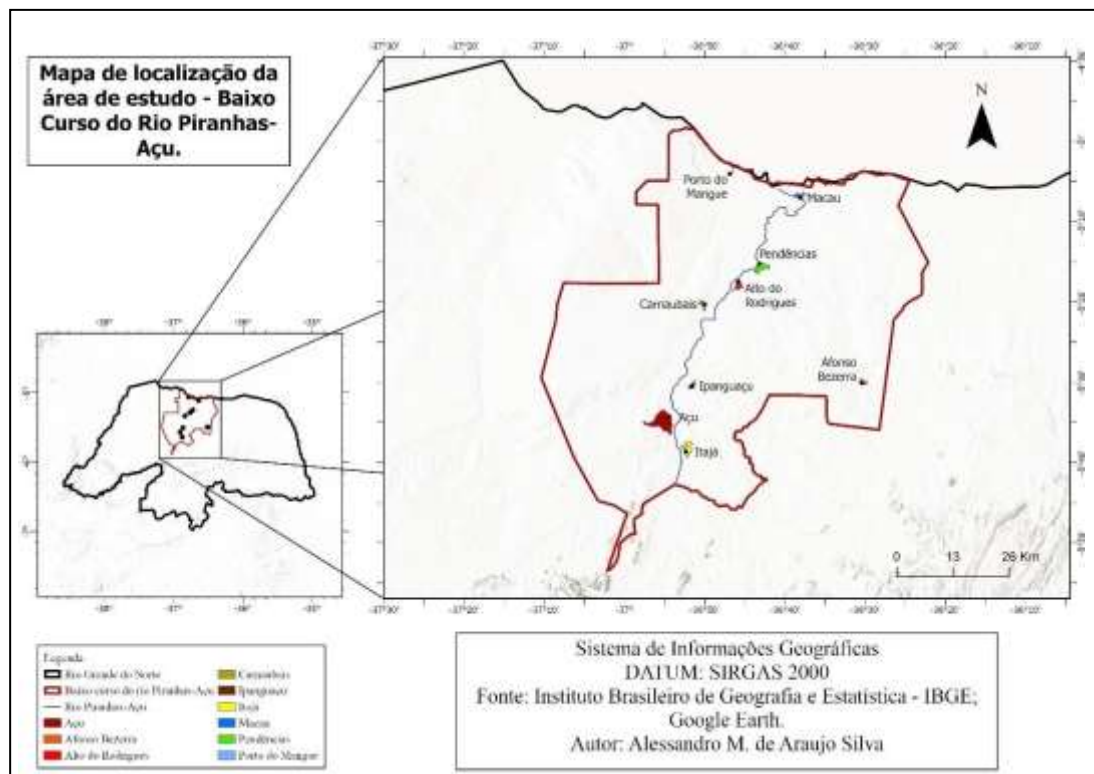
Fonte: Silva, 2022.

Tem como principal rio o Piranhas-Açu, com cerca de 405 quilômetros de extensão. Sua nascente está localizada no estado da Paraíba, na Serra de Piancó, município de Bonitode Santa Fé, e sua foz está localizada no estado do Rio Grande do Norte, próximo ao município de Macau (MEDEIROS, 2018). Assim como os demais rios existentes, exclusivamente no semiárido nordestino, o rio Piranhas-Açu também é intermitente, tornando-se perenizado através da construção de barragens em sua extensão, sendo as principais a barragem de Coremas/Mãe d'Água, localizado no estado da Paraíba e a barragem de

Armando Ribeiro Gonçalves, que fica no Rio Grande do Norte. A bacia possui 147 municípios, dos quais 100 pertencem ao Estado da Paraíba e 47 ao Estado do Rio Grande do Norte. Desse total, 132 municípios têm sua sede dentro dos limites da bacia (BRASIL, 2016).

Como área de estudo dessa pesquisa selecionamos o trecho do baixo curso do rio Açu. O baixo curso do rio Piranhas-Açu está localizado a jusante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, perpassando pelos municípios de Açu, Itajá, Ipangaçu, Carnaubais, Pendências, Afonso Bezerra, Alto do Rodrigues, Macau e Porto do Mangue (Ilustração 7). A região possui uma extensão territorial de 4.722,237 Km² e conta com uma estimativa populacional para o ano de 2021 de 173.338 pessoas (IBGE, 2021).

Ilustração 7 – Mapa da área de estudo



Fonte: Silva, 2022

O clima da região é quente e seco, com as chuvas concentradas no período do Outono, sendo influenciadas pela ZCIT e pelos fenômenos El Niño e La Niña. A Geologia da área é composta em maior parte por depósitos sedimentares, sendo eles classificados em depósitos aluvionares, depósitos litorâneos, depósitos eólicos litorâneos paleodunas, depósitos fluvio-lacustrinos, depósitos fluviomarinho, depósitos aluvionares antigos, depósitos de mangue e depósitos colúvio-eluviais (MEDEIROS, 2018). A vegetação predominantemente

é a caatinga, tendo a presença também da cobertura vegetal de mangue mais ao litoral. Nesse cenário, ganha destaque a *Copernicia prunifera*, mais conhecida com Carnaúba, espécie de palmeira componente da mata ciliar da região e fonte de renda em épocas passadas.

A região do baixo Piranhas-Açu é conhecida pelo seu grande potencial econômico, sendo uma das regiões mais importantes economicamente do estado do Rio Grande do Norte. Essa foi uma das regiões que mais cresceram economicamente no interior do estado, principalmente na segunda metade do século XX. Até a inundação ocorrida no ano de 2008, a região girava economicamente em torno da carcinicultura, salinas, exploração de petróleo. Após a inundação de 2009 a atividade de carcinicultura perdeu força em decorrência da saída das principais empresas do ramo da região (COSTA, 2012).

Historicamente, a primeira das atividades desenvolvidas na região do baixo curso do rio Piranhas-Açu foi a pecuária, através do processo de doação de sesmarias pelos portugueses como incentivo para o processo de ocupação do interior do território do Nordeste Brasileiro (HESPANHOL, 2017). Em seguida, surgiu o chamado Ciclo da Carnaúba, que foi o período de exploração dessa árvore, presente em larga escala na região, principalmente para a produção de cera. Os autores ressaltam que:

A carnaúba, que ocupava vastas extensões da área de várzea do Vale do Açu, começa a ganhar destaque já no início do século XVIII, na consolidação da ocupação portuguesa no Vale, com o seu uso em utensílios caseiros, chapéus, etc. Mas só no século XIX é que através da extração da cera, vai ser exportada e conquistar o comércio nacional e internacional, iniciando o chamado Ciclo da Carnaúba (ALBANO e SÁ, 2009. P. 10).

A partir da década de 1970, a produção de cera de carnaúba passou a ter uma grande queda. Isso se deu pelo fato de que o preço internacional desse produto estava bem abaixo do que em outros momentos desse ciclo. Em consonância a isso, estava ocorrendo também a ampliação dos programas de construção de barragens e de irrigação para a produção da cultura do algodão e da fruticultura irrigada, principalmente em regiões de várzea (ALBANO e SÁ, 2009).

Com isso, chega ao fim o Ciclo da Carnaúba e se intensifica o da fruticultura. A construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves foi um dos impulsores nesse processo, pois proporcionou a disponibilidade hídrica necessária para a realização dessa atividade. Com isso, a região passou a ser uma das

grandes produtoras de frutas do estado atraindo empresas nacionais e internacionais que acabaram por se instalar na área. Porém, para a população que ali residiam, a construção da barragem não foi tão vantajosa economicamente. De acordo com Hespanhol (2017):

A implantação da barragem gerou inúmeros problemas às populações mais pobres da região, pois provocou a desestruturação de atividades importantes, tais como a extração de cera de carnaúba, a produção de algodão, a criação de gado e a realização de cultivos de subsistência nas áreas de vazante do rio Piranhas-Açu. Por outro lado, a disponibilidade de água para irrigar os plantios no baixo curso do rio Piranhas-Açu estimulou empresas agroindustriais como a FRUNORTE, FINOBRASA, São Guilherme, Tropic Ltda., Leônidas Júnior, Taquaritinga Agroindustrial S. A. (TAISA), Agrovale, Veneza, Nasa e Seridó Ltda., e agricultores capitalizados a adquirirem terras, especialmente nos municípios de Assu, Ipanguaçu, Alto do Rodrigues e Carnaubais (HESPANHOL, 2017, p. 109).

A construção da barragem também ocasionou um rearranjo espacial e social na área, pois para o desenvolvimento do seu projeto uma parcela da população residente na região teve que ser realocada para outros lugares, com a promessa de receber benefício após a conclusão da obra. Já o restante da população local teve que migrar para as áreas urbanas pelo fato de que as empresas e os agricultores capitalizados que foram atraídos para a região passaram a adquirir grandes quantidades de terras fazendo com que os pequenos produtores não tivessem como competir contra eles, se vendo quase que obrigados a se desfazerem das suas poucas quantidades de terras.

Ocorreu, então, o início da industrialização na agricultura local, comandada por empresas multinacionais, porém de forma desigual. O pequeno agricultor não tinha condições de competir com a agroindústria que chegava na região, se vendo obrigado a se desfazer das suas terras por pequenos valores (MEDEIROS, 2018, p. 106).

Com isso, esses pequenos produtores passaram a investir seus recursos em caderneta de poupança ou em ativos imobiliários nas áreas urbanas. Já os que não possuíam terras, que cuidavam das terras para os proprietários, o que restou foi a mudança em definitivo para as áreas urbanas, se ocupando com atividades informais ou de baixa remuneração (SILVA, 1999; HESPANHOL, 2017).

2.4.1 Episódios de inundações na região do baixo curso do rio Piranhas-Açu

A região do baixo curso do rio Piranhas-Açu teve seu processo de ocupação atrelado aos diferentes momentos econômicos pelo qual passou. Além de ser conhecida pelo seu grande potencial para o desenvolvimento de atividades econômicas, ela também é conhecida pelos seus episódios de inundações. Entre as regiões do Nordeste que apresentam significativos registros de inundações, o baixo curso do rio Piranhas-Açu é uma das áreas que enfrenta problemas periódicos de inundações (LIMA e MEDEIROS, 2020).

Atrelado a isso, a construção de barragens ao longo do rio passou a falsa sensação de segurança para as populações à sua jusante, pois acreditavam que, pelo fato das barragens passarem por longos períodos de seca e com seus níveis hídricos muito baixos, o risco de inundações seria quase que inexistente (DNOCS, 2012; MEDEIROS, 2018).

Medeiros (2018) cita os anos em que ocorreram esses eventos no baixo Piranhas- Açu, destacando que houveram episódios antes e após a construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves e que o maior aconteceu pouco tempo depois da sua construção:

Antes da inauguração da barragem Armando Ribeiro Gonçalves houve registros de inundações datado de 1875, como também 1924 – a maior até então – e que foi superada em 1964 devido a 15 dias de chuva ininterruptas e, em 1974. (...) Em 1983 a barragem Armando Ribeiro foi inaugurada e, em 1985, houve a maior inundação da região até então, no qual a barragem apresentou uma sangria de 4,5 metros de lâmina d'água. Depois desse ano ainda houve inundações nos anos de 1996, 2004, 2008, 2009 e 2011 (MEDEIROS, 2018, p. 109-110).

Esses episódios provocam diversos prejuízos na região, principalmente por afetarem áreas de importância econômica. Por possuírem áreas férteis, devido a troca de sedimentos e matéria orgânica nos episódios de cheia, essas áreas foram ocupadas, em parte, por fruticultores. Com isso, os pulsos de inundação passaram a prejudicar a produção de frutas, com a estimativa de 87,4 Km² de área atingida, ocasionando grandes perdas (OLIVEIRA, GUEDES e COSTA, 2017).

Esses eventos causaram grandes impactos sociais e econômicos para as áreas afetadas, sendo vários os relatos de prejuízos ocasionados pelas inundações. Em reportagem do site Uol Notícias, do dia 07/04/2008, o destaque é para os prejuízos ocasionados pelas fortes chuvas no estado do RN. A reportagem traz a informação de que quatro pessoas morreram no município de Açu ao tentar atravessar o rio e a canoa que ocupavam virar. Há também relatos

de inundações no município de Pendências e Ipanguaçu, que afetaram a produção de camarão e de banana na região.

Já uma reportagem do Jornal Tribuna do Norte, do dia 06/02/2011, destaca o temor dos produtores da região, principalmente dos carcinicultores do município de Pendências, que já haviam iniciado o processo de despesca e esvaziamento dos seus viveiros temendo a ocorrência de inundações na área. A matéria ainda traz a informação de que produtores da região que já haviam sofrido com os episódios anteriores de inundações, reduziram suas áreas de produção, demitiram vários funcionários e tiveram que reformular o desenvolvimento de suas atividades produtivas.

Em outra reportagem do mesmo Jornal mencionado anteriormente, do dia 30/04/2011, o destaque mais uma vez fica com o município de Ipanguaçu que novamente sofreu com mais um episódio de inundação. A notícia destaca que o município já estava sendo atingido pelo quarto episódio de inundação nos últimos 7 anos (2004, 2008, 2009 e 2011), sendo os impactos cada vez maiores. No período da reportagem já se encontravam cerca de 60 famílias desabrigadas, 13 comunidades ilhadase 3 bairros inundados na zona urbana.

Percebe-se, através das informações, que os eventos de inundações ocorridos na região causaram diversos prejuízos e danos às cidades que foram atingidas. Isso também demonstra que apesar de já se existir estudos que apresentem e constatem esses problemas, nada é mudado em relação à ocupação dessas áreas.

Diante do exposto, percebe-se que, ao longo dos anos, o processo de ocupação pelos mais diversos fins não cessou na região e a respeito disso, Lima e Medeiros (2020) mapearam/verificaram as consequências da ocorrência de cheias no Baixo Piranhas-Açu, identificando uma série de estruturas urbanas que estão sob áreas de risco.

Os achados da pesquisa indicam que na planície de inundação do Baixo Açu, os episódios de grande inundação podem afetar: 564 poços de petróleo, 7 poços de combustíveis, 7 indústrias, 18 escolas, 10 unidades de saúde, 4 unidades de saúde e 21 igrejas. Assim, compromete uma grande quantidade de estruturas de diversos setores da sociedade, além de aumentar o risco de contaminação do rio (Ilustração 8).

Ilustração 8 – Estruturas, por município, afetadas em episódios de cheia no Baixo Açu

Município		Escolas	Unidades de saúde	Lixões / aterros	Posto de combustível	Cemitérios	Indústrias	Igrejas	Serviços	Poços de petróleo
Alto do Rodrigues	Existente	12	6	0	4	1	4	10	2	1446
	Na mancha de inundação	9	6	0	2	1	2	9	0	329
Assu	Existente	13	7	0	6	1	4	21	3	1091
	Na mancha de inundação	1	1	0	1	0	2	0	2	75
Carnaubais	Existente	4	2	0	2	1	0	7	0	662
	Na mancha de inundação	0	1	0	0	0	0	0	0	151
Ipanguaçu	Existente	7	3	1	1	1	2	11	1	2
	Na mancha de inundação	6	1	0	1	1	1	9	1	1
Itajá	Existente	3	1	1	3	1	6	4	2	0
	Na mancha de inundação	0	0	0	2	0	1	0	0	0
Pendências	Existente	6	5	1	2	2	3	8	1	608
	Na mancha de inundação	2	1	0	1	1	1	2	-	8
Afonso Bezerra	Existente	5	3	1	1	2	0	4	0	12
	Na mancha de inundação	0	0	0	0	1		1	0	0
Total Geral	Existente	50	27	4	19	9	19	65	9	3821
	Na mancha de inundação	18	10	0	7	4	7	21	3	564

Quadro 1 – Porcentagem de estrutura inundada por município - Autoria Própria.

Fonte: Lima e Medeiros, 2020.

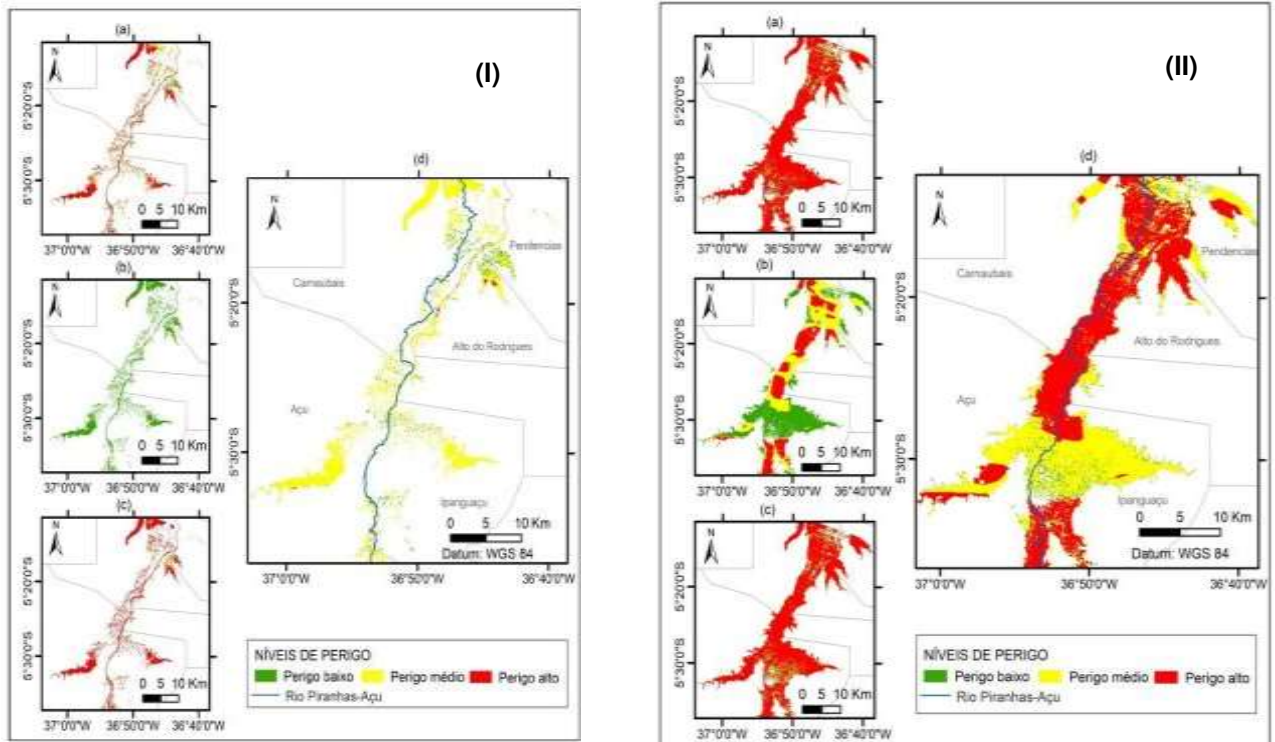
Já o estudo de Almeida (2019) realizou o mapeamento de perigo de inundação para a região do baixo curso do rio Piranhas-Açu através da realização de modelagem hidráulica, tendo como indicadores a frequência (tempo de retorno), velocidade do fluxo d'água, profundidade (da lâmina d'água da inundação) e o tempo de duração da cheia.

Esses indicadores foram adaptados para a realidade da área de estudo a partir dos trabalhos de Kwak et. al. (2015), Ribeiro Neto et. al. (2016) e Thieken et al. (2005) sendo classificados em perigo baixo, médio e alto. Para o indicador de velocidade do fluxo d'água, as variáveis foram estabelecidas em 0,00 – 0,60 (baixo), 0,60 – 1,20 (médio) e > 1,20 M/s (alto). Os valores para o indicador de profundidade seguiram os mesmos valores do indicador de velocidade, porém medidos apenas em metros. O indicador tempo foi considerado em duração da inundação durante 7 dias (baixo), 7-15 (médio) e >15 (alto).

A modelagem hidráulica mostrou que as cheias para a região do Vale do Açu são diferenciadas, conforme o período de retorno (Ilustrações 9 e 10). Os resultados apontam que as inundações em períodos de retorno menores (5 ou 10 anos) a mancha de inundação não atinge grandes áreas, restringindo até a calha do rio. Já para períodos maiores, a inundação alcança grandes áreas, afetando as áreas urbanas de alguns municípios da região, a exemplo de

Ipanguassú e Alto do Rodrigues. Com isso, a modelagem hidráulica realizada para a região apresentou resultados consideráveis, indicando que as inundações para a região alcançam grandes profundidades, baixa velocidade no fluxo d'água e tempo de duração elevado, indicando perigo médio para tempo de retorno menores e de perigo alto para os períodos de retorno maiores.

Ilustrações 9 e 10 - Mapas de perigo contendo os indicadores (a) profundidade, (b) velocidade, (c) duração e (d) perigo geral para o tempo de retorno de 5 (I) e de 100 (II) anos.



Fonte: Adaptado de Almeida, 2019.

3. METODOLOGIA

Como procedimentos metodológicos adotados para a pesquisa, utilizou-se como base o processamento de imagens de satélite e, em seguida, a vetorização das áreas de interesse da pesquisa. Utilizou-se nesta pesquisa três imagens do sensor Landsat 5 TM da mesma cena (Órbita/Ponto: 215/64) referentes aos dias 17/04/1985, 04/06/1985 e 16/04/2008; uma imagem do sensor Landsat 7 ETM (Órbita/Ponto: 215/64), do dia 04/08/2008; e uma do sensor CBERS 2B CCD (Órbita/Ponto: 148/106), do dia 15/04/2008. As bandas espectrais utilizadas das imagens dos sensores TM e ETM apresentavam 30 m de resolução espacial, enquanto para o sensor CCD esse parâmetro era de 20 m.

As imagens foram obtidas em sites de instituições governamentais, tais como o Earth Explorer do Serviço Geológico Americano e da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

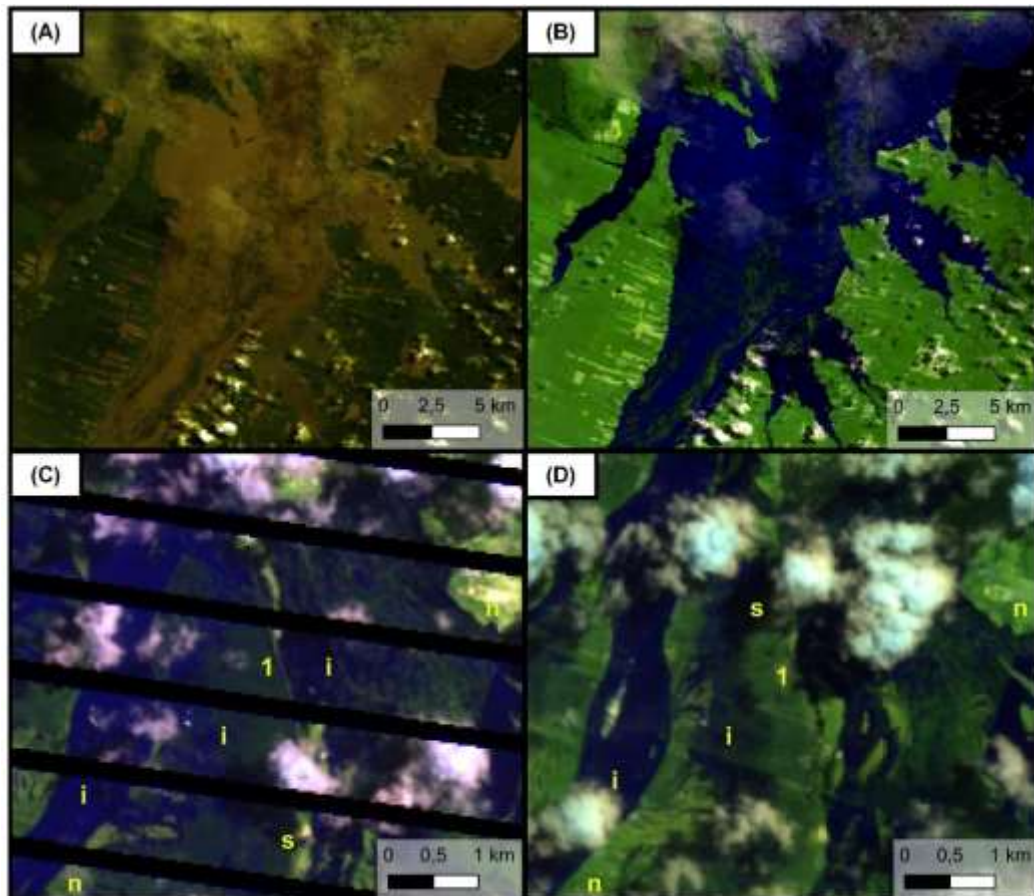
Para o mapeamento das áreas inundadas foram escolhidas as composições coloridas R:7-G:5-B:3 para as imagens dos sensores TM e ETM e R:4-G:3-B:2 para o sensor CCD, todas no sistema de cores RGB (*Red-Green-Blue*). Com isso, as imagens do sensor TM e ETM passaram a apresentar os corpos d'água na coloração azul (Ilustração 11-B), enquanto para o sensor CCD a cor da água é representada pela cor preta.

O processo de vetorização (criação de polígonos) das áreas de inundação foi realizado através do software ArcGIS Pro. A vetorização objetivou mapear a maior área possível que já foi inundada no Baixo Açu. Portanto, sua área corresponde ao somatório de todas as áreas já inundadas que puderam ser identificadas nas cinco imagens citadas anteriormente.

Verificou-se que as imagens dos dias 17/04/1985 e 08/04/2008 apresentavam maior extensão de áreas inundadas, mesmo assim as demais imagens foram de grande necessidade para delimitação dos limites da máxima inundação, e isto se deve a alguns fatores, tais como: i) grande quantidade de nuvens em todas as imagens – acaba mascarando os limites da inundação, assim ao se verificar a inundação em cada imagem pôde-se interpretar de modo mais preciso onde estaria o limite da máxima inundação; ii) listras defeituosas na imagem Landsat 7 ETM – assim como as nuvens, encobrem os limites da inundação em uma das imagens onde foi verificada sua maior extensão (Ilustração 11-C); iii) imagens com datas de imageamento próximas denunciam

áreas encharcadas – ao analisar imagens com datas próximas é possível perceber locais de vegetação que passam de uma coloração verde escura, por vezes azulada, para verde mais claro (cor comum nas áreas não inundadas), isto leva a crer que aqueles locais estavam encharcados e com o passar do tempo foram secando (Ilustração 11-C e D).

Ilustração 11 – Representação da interpretação realizada através das imagens de inundação



(A): Imagem Landsat 5 TM de 17/04/1985 mostrando a inundação no Baixo Açu vista na cor natural (R:3-G:2-B:1). **(B):** Mesma cena de (A) na composição R:7- G:5-B:3. **(C):** Imagem Landsat 7 ETM de 08/04/2008 enfatizando a presença das listras defeituosas, sombras de nuvens (s), áreas inundadas (i), não inundadas (n) e encharcadas (1). **(D):** Mesmo recorte de (C) visto na imagem Landsat 5 TM de 16/04/2008.

Mapeou-se, também, as áreas dos corpos d'água da região tais como rios, lagoas e açudes, considerando o seu leito maior ou de cheia. Esse recurso foi necessário, pois uma inundação só pode ser considerada para além desses limites de cheia dos corpos d'água presentes numa região. A delimitação das áreas dos corpos d'água contou com ajuda do *software Google Earth*, pois detém uma série histórica de imagens de alta resolução onde é possível verificar as

cheias ou menos interpretar seus limites (diferentes tonalidades ao redor dos corpos d'água). Uma vez delimitadas as áreas dos corpos d'águas, elas foram subtraídas da área de inundação anteriormente vetorizada.

A partir das áreas dos corpos d'água foi possível também delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APP) do Rio Açu e das lagoas da região, conforme estabelece o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12651/2012). Assim, para a APP do Rio Açu foi considerada uma 200 m de largura das margens, uma vez que esse Rio tem largura do leito de cheia predominantemente entre 200 e 600 m. Já as lagoas da região têm área maior que 5 ha o que, conforme a Lei, garante uma APP de 100m partindo de seu leito maior.

Na etapa seguinte desse trabalho, o arquivo vetorial (*shapefile*) de máxima inundação foi levado para o ambiente do *Google Earth* e realizada a marcação dos pontos por município que seriam afetados com a possível ocorrência de novos eventos de inundação. Nesse mesmo *software* foram mapeados os locais em situação de risco em diferentes dados, conforme o banco de imagens de alta resolução disponibilizado.

Os pontos de inundação mapeados correspondem a edificações ou imóveis, as quais não se pode precisar o tipo (e.g. residência, comércio, etc). O critério de marcação desses pontos foi a identificação da cumeeira das edificações, fazendo assim a distinção de um ou mais imóveis. Outras edificações foram selecionadas a partir apenas da observação e interpretação da imagem. Os erros de deslocamentos observados nas imagens do *Google Earth* não foram corrigidos. Eles equivalem a deslocamentos de no máximo 10 metros, que para fins de identificação do crescimento no número de imóveis não trouxeram muitos prejuízos. Isto porque nesse processo de identificação utilizou-se como base a imagem mais recente onde todos os imóveis já estão contidos.

Ainda no *Google Earth* mapeou-se os limites da zona urbana de cada sede municipal pelo menos dois momentos: a imagem mais antiga possível da área e a mais recente. Esses limites foram baseados no banco de dados do *Open Street Maps*, sendo considerado como zona urbana da sede municipal todas as áreas com edificações conectadas por ruas (pavimentadas ou não). Após a realização desse procedimento, as informações obtidas foram utilizadas na produção de mapas do avanço urbano para as áreas de risco.

Por fim, como último processo realizado, realizou a comparação entre os

pontos de inundação de três dos municípios (Alto do Rodrigues, Ipanguassú e Pendências) utilizando imagens do dia 08/04/2008 – 16/04/2008, com a finalidade de identificar a duração da mesmanesse espaço de tempo.

4. RESULTADOS

Os resultados alcançados com a pesquisa mostram que todos os municípios da região do baixo Piranhas-Açu têm suas áreas afetadas nos episódios de inundação. Além disso, também foi possível realizar a identificação dos que são mais afetados em suas áreas urbanas, demonstrando que o processo de urbanização local foi realizado em áreas de risco.

Curiosamente, no município de Ipanguassú observa-se que as áreas não afetadas pelas inundações se apresentam como grandes ilhas, o que faz jus ao nome tupi-guarani recebido pelo município: IPAN = Ilha + GUAÇU = Grande. Além disso, esse também era o nome de um dos líderes indígenas da tribo dos Janduíns que possuía grande estima entre os colonizadores por ter colaborado com o processo de colonização dos portugueses no século XVI (Ilustração 12 b). Já no município de Macau (Ilustração 12a), essas áreas não inundadas correspondem a antigas ilhas barreiras mapeadas por Silva (1991) e Souto (2009). Essas ilhas têm origem costeira, graças a ação das ondas e marés e marcam antigas linhas de costas. Sobre essas antigas ilhas estão fundadas a cidade de Macau, seu distrito de Ilha de Santana e outros povoados.

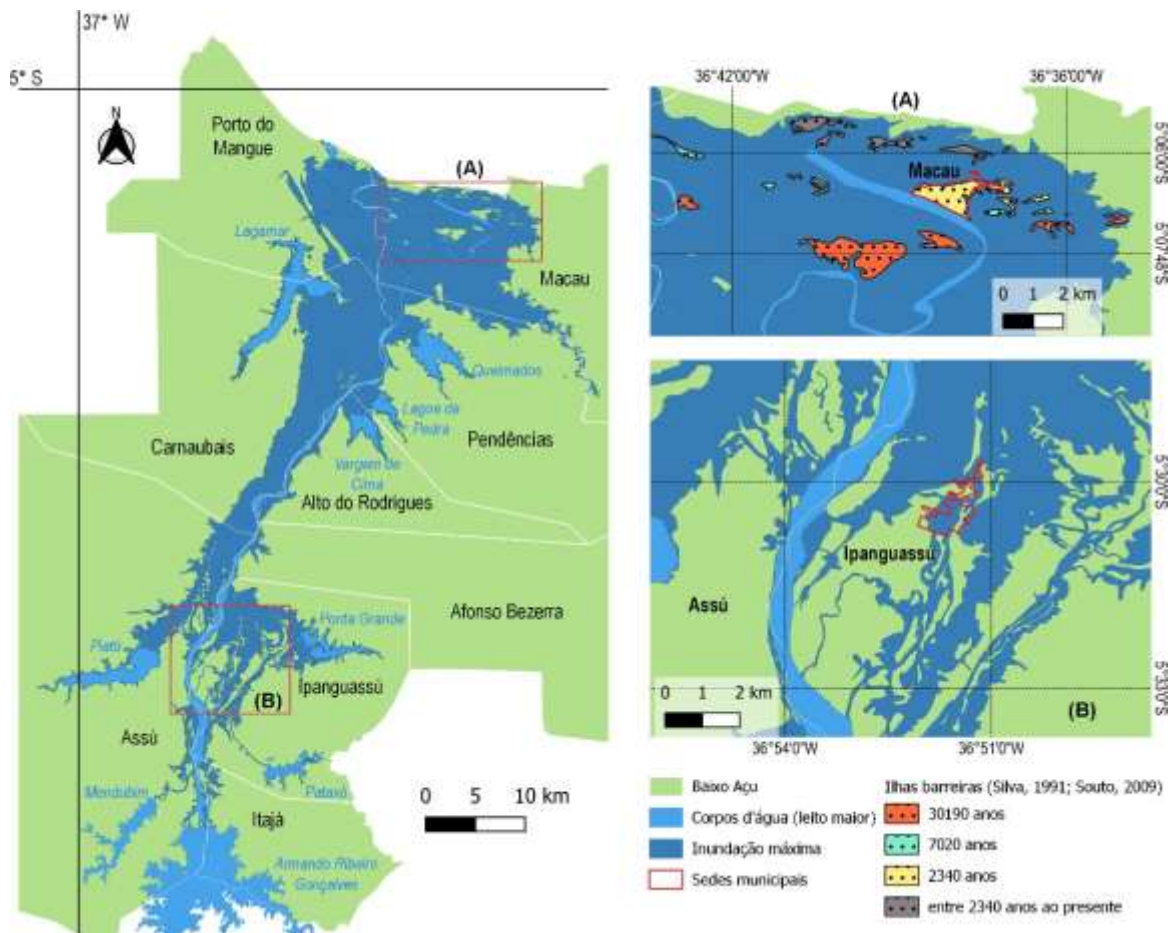
Não se pode afirmar que essas áreas jamais serão afetadas por episódios de inundação, uma vez que rios (tais como o Açu) são feições em contínua transformação devido aos processos sedimentares associados à migração de canais. Portanto, entende-se que essas áreas não afetadas são instáveis, não estando isentas de serem atingidas em novos episódios de inundação, pois a dinâmica fluvial das planícies de inundação e o uso e ocupação do solo estão em constante processo de modificação, remodelando dessa forma a região.

A máxima inundação observada no baixo curso do Rio Açu correspondeu a cerca de 532,28 km² ou 53.228 ha, nos quais não estão contabilizadas as áreas de leito maior dos rios, lagoas e açudes (e.g. Açu, Piató e Pataxó, respectivamente). Considerando essas áreas, a máxima inundação corresponderia a 653,44 km². A maior das lagoas é Lagamar, situada nos municípios de Carnaubais e Porto do Mangue, com uma área de 2.090 ha.

Em seguida, tem-se a Lagoa de Queimados com cerca de 1.645 ha

inseridos no território de Pendências. No município de Ipanguassú, a Lagoa de Ponta Grande recobre uma área de 781 ha, enquanto o Açude de Pataxó cerca de 557 ha. As vizinhas Lagoa da Vargem de Cima (Alto do Rodrigues) e Lagoa da Pedra (na qual está incluída a Lagoa do Saco, ambas situadas em Pendências) apresentam, respectivamente, 568 e 532 ha, e formam, praticamente, um único corpo durante períodos de cheia. Já Piató, maior lagoa do município de Assú, tem área correspondente a 532 ha. Seguindo esse mesmo raciocínio, o leito maior do Rio Açu totaliza 4.809 há ao longo de sua extensão.

Ilustração 12 (a - b) – Municípios de Ipanguassú e Macau e suas áreas não afetadas



Fonte: Silva e Silva (no prelo).

Observando a mancha de inundação ao longo dos municípios do Baixo Açu, constata-se que no município de Itajá a inundação atinge uma área de 327 ha, o que equivale a, aproximadamente, 2% de seu território. Já para o município vizinho, que seria Assú, a inundação afeta 5.548 ha ou cerca de 4% do seu território. Em Ipanguassú, cerca de 6.478 ha da sua área são afetadas, o que

corresponde a 17% do seu território total. Carnaubais apresentou uma área afetada de 13.653 ha, correspondente a 26% do seu território, figurando, dessa forma, entre os municípios com maior área atingida. Afonso Bezerra apresentou uma área atingida bem pequena, quando comparado aos demais municípios, com cerca de 290 ha, o que equivale a menos 1% do seu território.

O município de Alto do Rodrigues apresentou uma área afetada de cerca de 1.396 ha, correspondente a 7% do seu território, estando entre os que apresentaram menor área afetada pela inundação. Já no município de Pendências, a área atingida é cerca de 3.749 ha equivalentes a 9% da área total do município. Macau apresentou uma área de 15.425 ha, algo relativo a 20% da área do seu território, sendo esse o município com maior área total atingida e o segundo com maior área relativa afetada pela máxima. Por fim, o município de Porto do Mangue apresentou uma área afetada de 6.349 ha, o que corresponde 17%, também o colocando entre os com maior território afetado na região.

Identificou-se que a máxima inundação põe em risco um total de 4.107 edificações, sendo estas distribuídas ao longo das zonas urbanas e rurais dos municípios. Neste trabalho o termo zona urbana é usado para se referir a área ocupada pelas sedes municipais, enquanto o termo zona rural é usado para agrupar todas as outras tipos de aglomerados populacionais dos municípios, tais como distritos, povoados, assentamentos e sítios.

Há apenas dois municípios que não apresentaram suas zonas urbanas afetadas pela máxima inundação, que foram Afonso Bezerra e Itajá. Vale ressaltar ainda que esses mesmos dois municípios são os que, conseqüentemente, possuem menos pontos afetados na região, o primeiro com apenas 3 pontos e o segundo com apenas 15. A tabela 1 resume a distribuição de pontos afetados nas zonas urbanas e rurais de cada município do Baixo Açu.

Entre os municípios com mais pontos afetados ao longo da zona urbana tem-se Ipanguaçu com 1.565 pontos inseridos na mancha de inundação, seguido por Alto do Rodrigues com um total de 587 pontos e Macau com 551 pontos. Já na zona rural os mais afetados são Ipanguassú com 337, Assú com 245 e Carnaubais com 213 pontos. No quantitativo total, Ipanguassú seguiu como o mais afetado, com um total de 1.902 pontos, seguido por Alto do Rodrigues com 680 e Macau com 594 pontos.

Tabela 1 – Quantidade de pontos afetados, por município, em episódios de inundação na região do baixo Piranhas-Açu

MUNICÍPIOS	PONTOS AFETADOS		
	<i>ZONA URBANA</i>	<i>ZONA RURAL</i>	<i>TOTAL</i>
Assú	55	245	300
Afonso Bezerra	0	3	3
Alto do Rodrigues	587	93	680
Carnaubais	23	213	236
Ipanguassú	1565	337	1902
Itajá	0	15	15
Macau	551	43	594
Pendências	226	62	288
Porto do Manguê	154	8	162
TOTAL	3.088	1019	4.107

Fonte: Autoria própria.

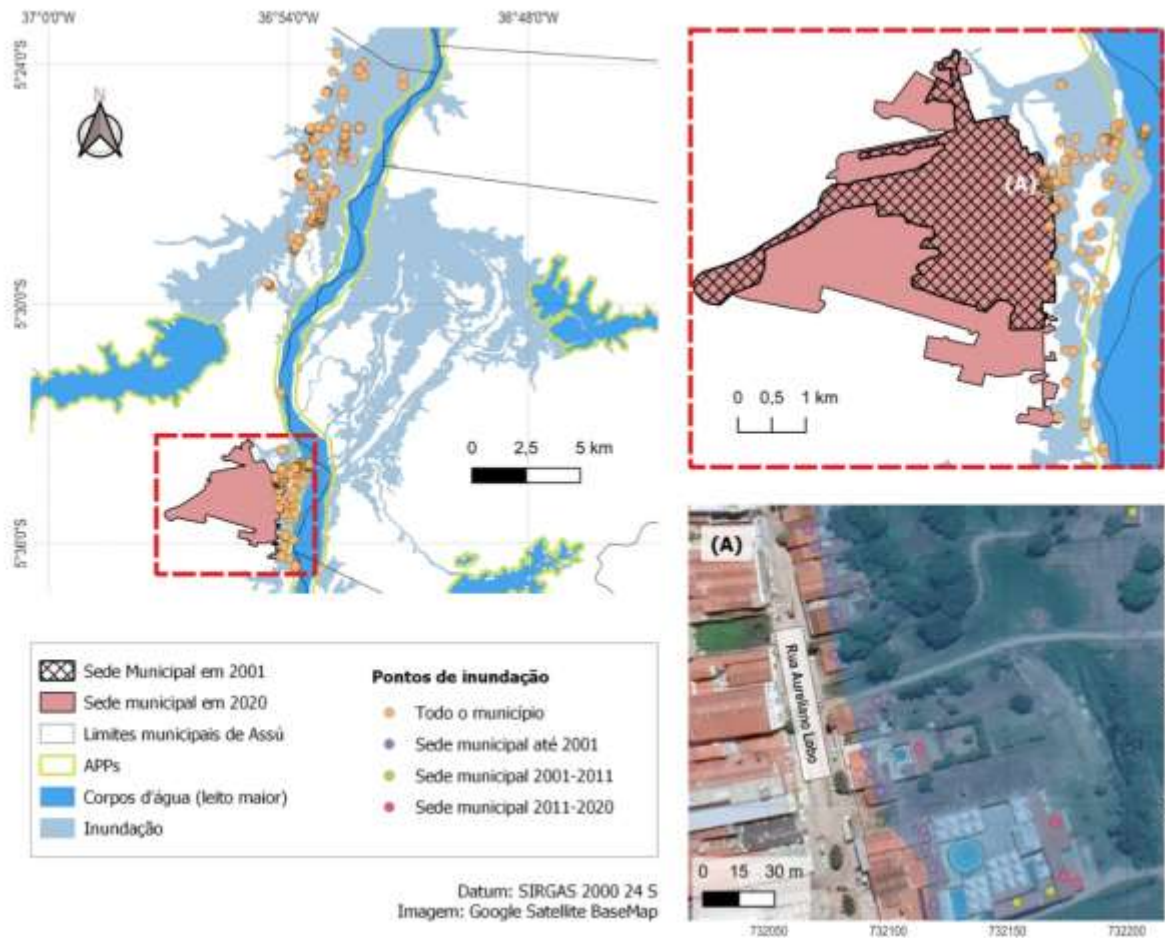
Após a realização do levantamento de pontos afetados na área urbana dos municípios, partiu-se para a análise do processo de urbanização nessas regiões ao longo do tempo, buscando identificar o avanço ou não da urbanização para essas áreas de vulnerabilidade. Os períodos utilizados para a análise foram escolhidos conforme a disponibilidade do histórico de imagens do *Google Earth*, sempre se utilizando as imagens mais nítidas possíveis.

Assú

A área urbana da sede do município de Assú somava cerca de 660 ha no ano de 2001, desse total apenas 2,6 ha (0,4%) estavam inseridos na área de inundação. Já no ano de 2020, a área urbana correspondia a aproximadamente 1248 ha, dos quais 5,5 ha (0,4%) estão dentro da mancha de inundação. Apesar das áreas vulneráveis a inundação terem dobrado de tamanho na sede municipal, elas ainda são pouco representativas para o tamanho da cidade.

O número de edificações afetadas pela inundação na sede municipal cresceu de 27 para 41 (aumento de 34%) no período de 2001 a 2011, chegando a 55 em 2020 (aumento de 25% no período de 2011-2020), o que representa um pouco mais que o dobro do observado em 2001. Nenhuma porção da sede municipal encontra-se inserida nos limites da APP das margens do Rio Açu. Assim, os pontos afetados pela inundação, que também estão inseridos em área de APP, apenas ocorrem na zona rural, totalizando 20 observações (Ilustração 13).

Ilustração 13 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Assú



Fonte: Silva e Silva (no prelo)

Ipanguassú

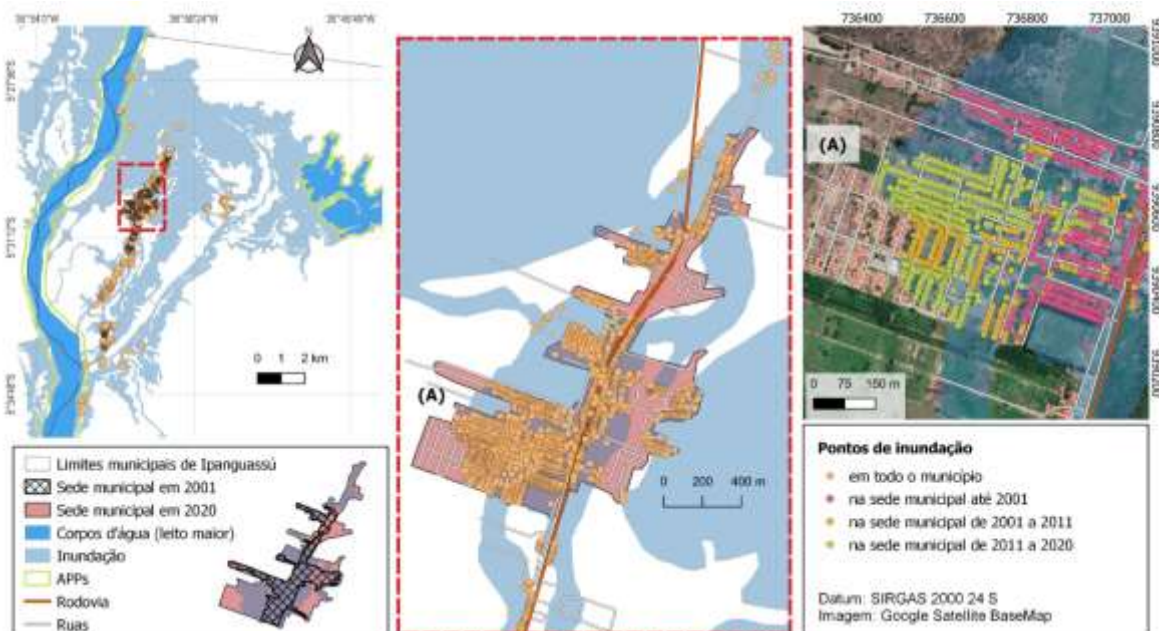
A área da sede do município de Ipanguassú no ano de 2004 era de aproximadamente 39,4 ha, sendo desse total 29,6 ha (75%) localizados em áreas de inundação. Já para o ano de 2020, essa área apresentava um total de 101,8 ha, estando 67,8 ha (66%) dela presentes na mancha de inundação. Percebe-se que o crescimento da sede municipal foi de 63% entre os anos de 2004-2020, enquanto as áreas de inundação aumentaram em 56%, apesar da redução da área proporcionalmente afetada 75% para 66%. Esse crescimento também pôde ser constatado através do número de edificações afetadas na sede do município ao longo desses anos.

O quantitativo de pontos afetados no ano de 2004 era de 750, passando para 1057 no ano de 2011, o que representa um aumento de 29%. Já para o ano de 2020, esse quantitativo de pontos passou para 1565, um crescimento

equivalente a 32% (Ilustração 14). Vale ressaltar que através das análises realizadas foi possível identificar até o surgimento de bairros completos nessas áreas de risco. Assim como em Assú, nenhuma parte da sede municipal de Ipanguassú se encontra localizada na área de APP do Rio Açu. Já na área rural o quantitativo de pontos afetados e localizados na APP foram 6.

Observando a forma como a mancha de inundação afeta a cidade de Ipanguassú e as regiões adjacentes, é nítido que a escassez de regiões seguras ao risco de inundação. Além disso, como já mencionado anteriormente, mesmo essas poucas “zonas seguras” poderiam ser afetadas em episódios futuros, uma vez que a dinâmica fluvial e da inundação são pouco conhecidas. Deste modo, qualquer crescimento urbano ao longo da sede do município estará sujeito a um alto risco de inundação, o que explica a grande aumento no número de pontos de inundação apresentados anteriormente.

Ilustração 14 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Ipanguassú



Fonte: Silva e Silva (no prelo)

Carnaubais

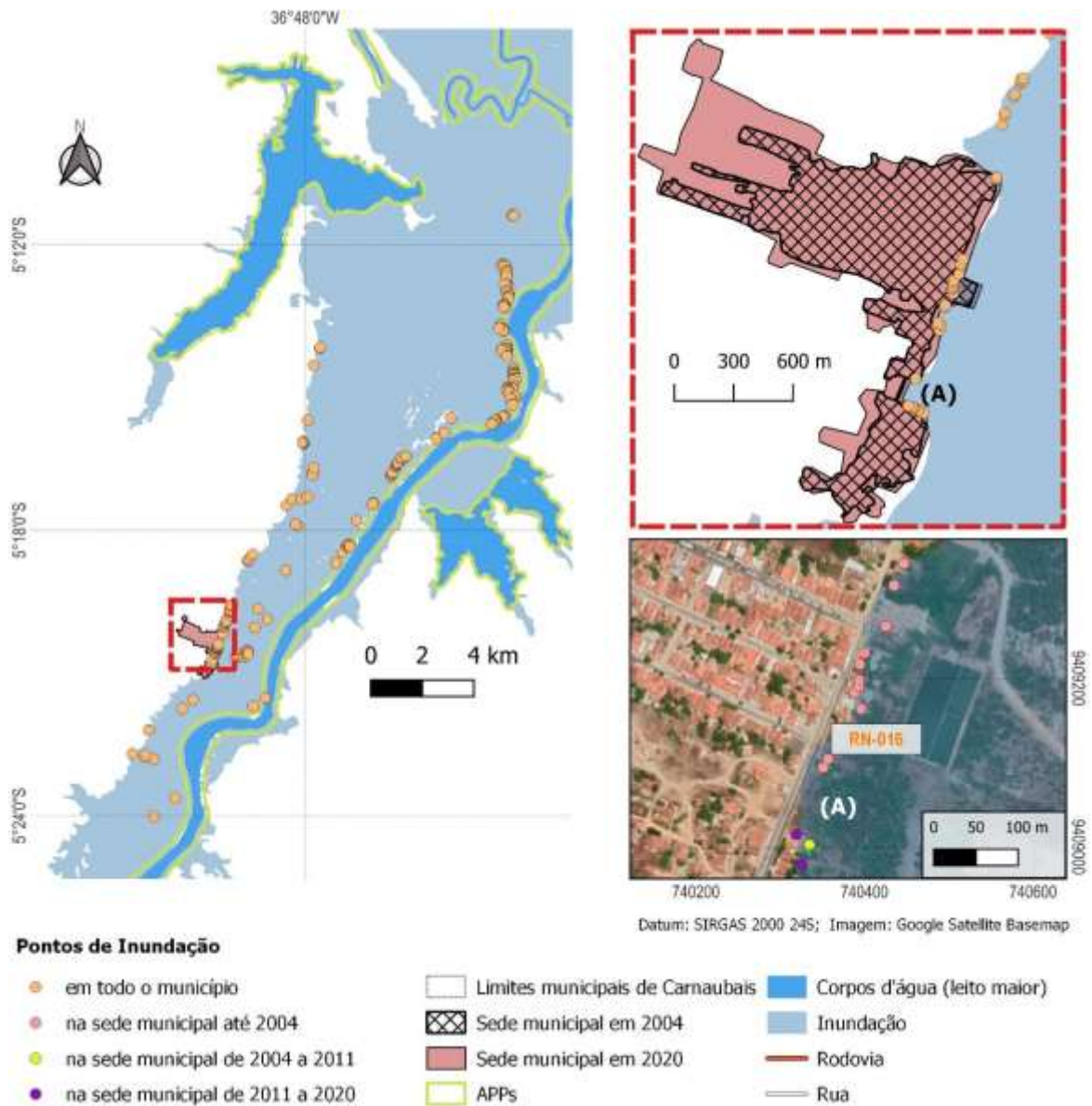
A cidade de Carnaubais tinha em 2004 uma área de 89,7 ha, sendo desses 1,8 ha (2%) localizados sob área de inundação. No ano de 2020, a sede municipal passou a contar com 139,5 ha, com um total de 3,3 ha (2%) dentro da mancha de inundação da região. O crescimento urbano da sede de Carnaubais se mostrou considerável, com um aumento de 35% entre 2004 e 2020. Já as

áreas de inundação tiveram um aumento de 45%, porém não tão considerável quando comparado ao tamanho total da sede municipal.

Já relativo as edificações sob risco de inundação na sede municipal, os valores também foram considerados baixos, sendo um total de 15, no ano de 2004, 20, no ano de 2011, e apenas 23 no ano de 2020, o que representou um crescimento de 65% (Ilustração 15). Carnaubais também não apresentou nenhuma parte da sua área sede localizada dentro da área da APP do Rio Açu. Já relativo aos pontos afetados na sua zona rural, 9 deles estão localizados na APP do Rio Açu.

O crescimento urbano na cidade de Carnaubais ocorreu preferencialmente se afastando das áreas de inundação, por isso se apresenta como sendo uma das sedes municipais menos afetadas dentre as demais da região. Seu maior quantitativo de pontos se deu nas demais áreas dos municípios, a exemplo de distritos e comunidades, com um quantitativo de 213 pontos. Com esse quantitativo, a cidade ficou em terceiro lugar entre os municípios mais afetados na zona rural, ficando atrás apenas de Ipanguassú e Assú.

Ilustração 15 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Carnaubais



Fonte: Silva e Silva (no prelo)

Alto do Rodrigues

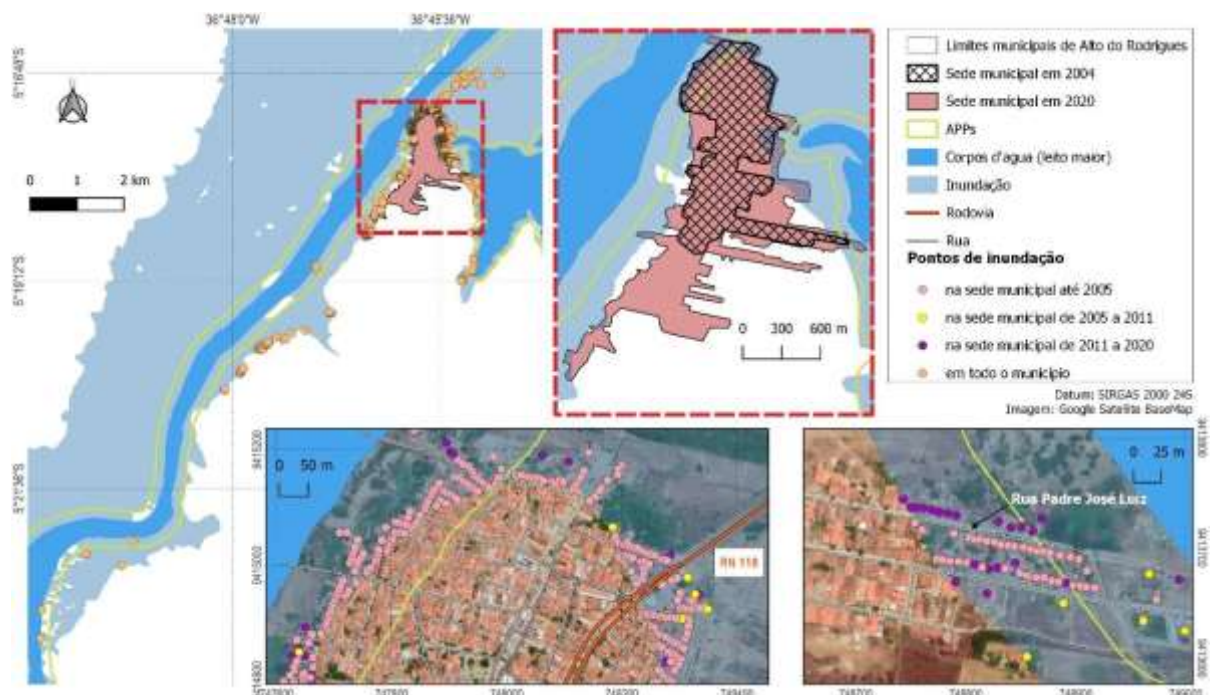
A área da sede do município de Alto do Rodrigues no ano de 2004 era de 86,1 ha, sendo desses 10,4 ha (12%) inseridos na área de inundação. No ano de 2020 essa área urbana correspondia a 169,3 ha, dos quais 22,4 (13%) estão contidos na mancha de inundação. O crescimento da sede municipal e das áreas sob risco de inundação deram-se em taxas muito semelhantes: 49% e 53%, respectivamente.

O levantamento do número de edificações em áreas de risco de inundação na sede municipal contabilizou um total de 441 no ano de 2004, passando para 502 (aumento de 12%) no ano de 2011 e posteriormente para 578 (13%) no ano de 2020. Isto faz da cidade do Alto do Rodrigues a segunda maior em número de edificações sob risco de inundação da região do Baixo Açú.

A Cidade do Alto do Rodrigues está praticamente “espremida” pelas águas que transbordam do Rio Açú (a Oeste e Norte) e da Lagoa da Vargem Grande (a Leste e Norte). Assim, a melhor opção para o crescimento da cidade é em direção ao Sul, o que de fato aconteceu (Ilustração 16). Por outro lado, o crescimento de edificações sobre áreas de risco de inundação é bastante significativo, especialmente para uma cidade que em 2004 já dispunha de centenas de pontos afetados.

A pavimentação de ruas em áreas de risco, como é o caso da Rua Padre José Luiz que, até o ano de 2004 sequer existia, leva ao entendimento de que ou o poder público desconhece/ignora o histórico dos episódios de inundação sobre o município, ou tem assumido que essas áreas de risco podem ser habitadas.

Ilustração 16 - Mapa do avanço urbano da cidade de Alto do Rodrigues com relação a área de máxima inundação para a região



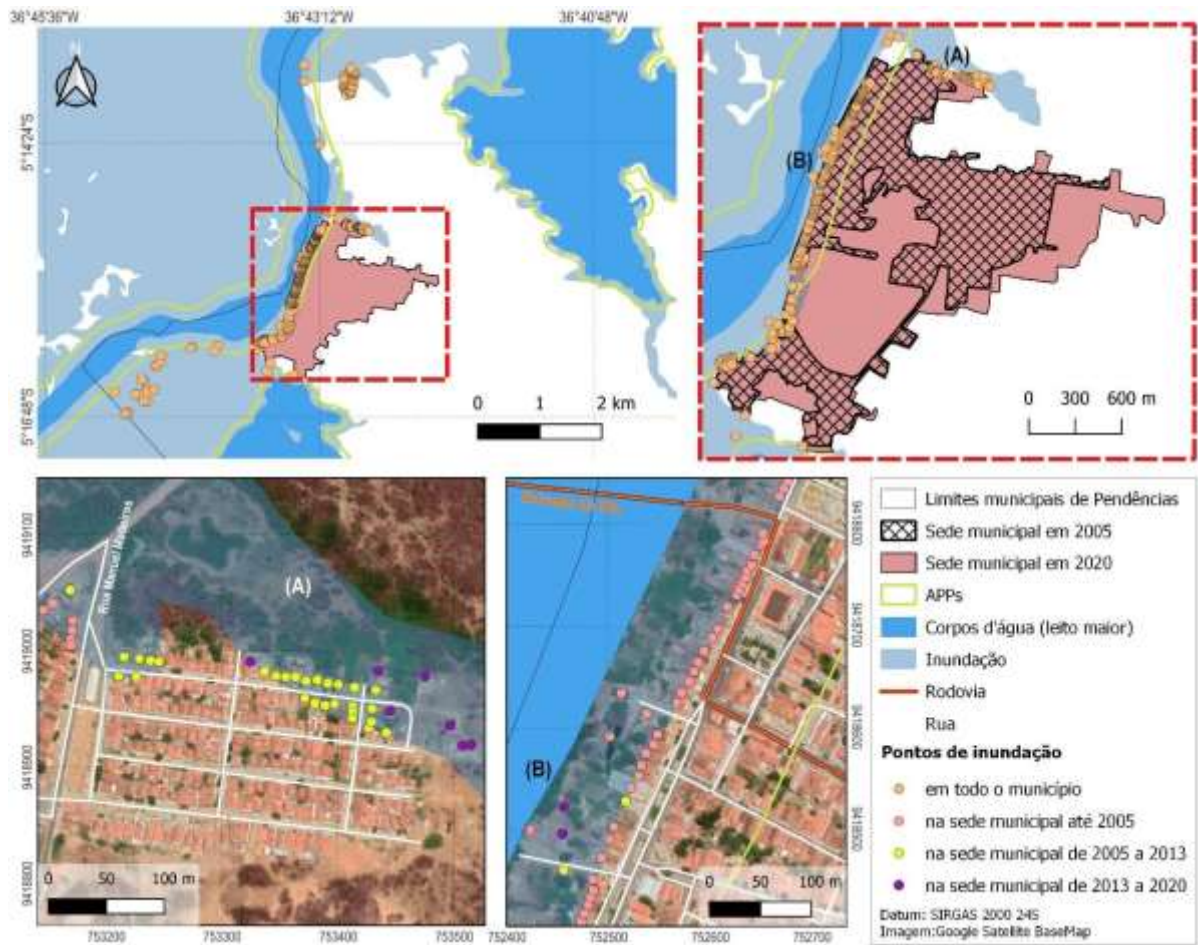
Fonte: Silva e Silva (no prelo)

Em relação às áreas da sede municipal presentes em áreas de APP, observou-se 9,0 ha com 146 pontos, sob risco de inundação na APP do Rio Açu, e 1,3 ha com 19 pontos sob risco de inundação na APP da Lagoa Vargem de Cima. Já na zona rural, observam-se apenas 9 pontos sob risco de inundação na APP do Rio Açu, e 11 pontos na APP da Lagoa Vargem de Cima. É válido ressaltar que a grande maioria das edificações observadas na APP do Rio Açu são antigas, provavelmente consolidada antes de 2004 (primeiro ano dessa análise). Já a área ocupada na APP da Lagoa da Vargem Grande, identifica-se aumento no número de edificações mais recentes, o que a caracteriza como região de expansão urbana.

Pendências

A área da sede municipal de Pendências no ano de 2005 era de 152,5 ha, sendo 9,1 ha (6%) desses inseridos na área de inundação da região. Já no ano de 2020 a área urbana correspondia a 273,8 ha, onde cerca de 14,7 ha (5%) estavam dentro da área de inundação do Rio Açu (Ilustração 17). Percebe-se que o crescimento urbano foi considerável, algo em torno de 44%. Já as áreas de inundação tiveram um crescimento de 38% entre 2005-2020, o que não se mostrou considerável ao se comparar com o total da área sede.

Ilustração 17 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Pendências



Fonte: Silva e Silva (no preto)

Os pontos sob risco de inundação, por sua vez, apresentaram um pequeno crescimento, onde no ano de 2005 existiam 164 pontos em áreas de inundação, no ano de 2013 passou para 208 (crescimento de 21%) e no ano de 2020 já somavam 226 (crescimento de 8%).

Com relação à existência de áreas da sede municipal dentro da APP do Rio Açu identificado a existência de uma área de 26,0 ha com grande densidade de edificações, das quais um total de 147 estão sob risco de inundação. A ocupação dessa APP dá-se de modo muito semelhante ao observado na Cidade do Alto do Rodrigues, onde a urbanização está bem estabelecida e data antes do ano de 2004. Na zona rural foi identificado o quantitativo de apenas 10 edificações inseridas na APP do Rio Açu e que estão sob risco inundação.

Macau

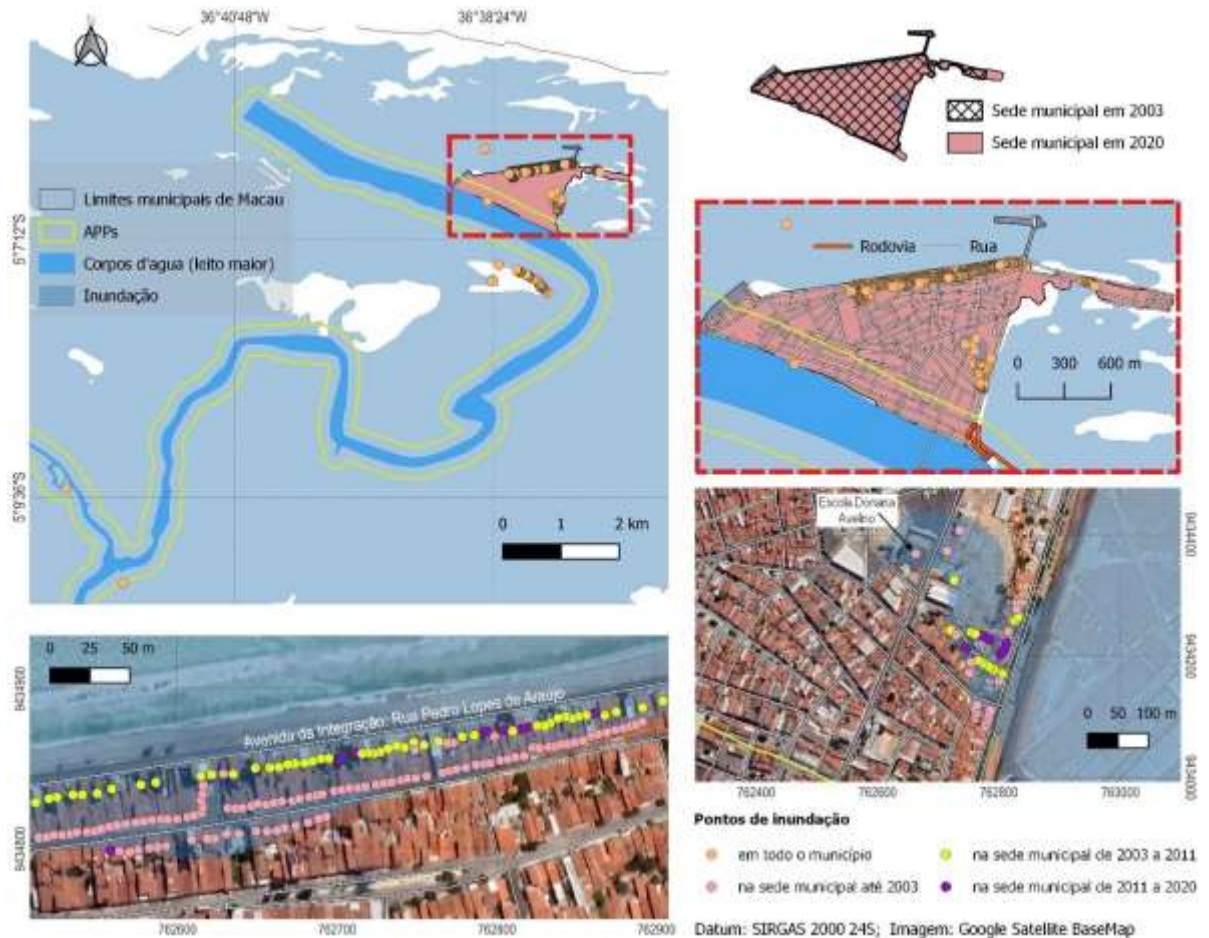
A área urbana do município de Macau no ano de 2005 somava um total de 135,3 ha, estando apenas 10,4 ha (7%) destes inseridos em áreas de inundação. Em 2020 a sede municipal apresentou crescimento, assim como as áreas situadas na mancha de inundação, passando a ter 147,7 e 15,4 ha (10%), respectivamente. A partir dessas informações, percebe-se que o crescimento da sede municipal de Macau foi de 8%, valor relativamente baixo quando comparado as demais cidades do Baixo Açu.

Macau foi uma das sedes municipais que, assim como Ipanguassú, apresentou problemas com relação ao crescimento urbano. Ao se observar em mapa (Ilustração 18), é perceptível que Macau também não apresenta áreas que possibilitem o seu crescimento sem que seja direcionado às áreas de risco. Isso está intimamente relacionado ao contexto geológico/geomorfológico, onde a cidade foi edificada: antigos depósitos de ilhas barreiras inseridos numa planície estuarina, circundando por canais e planície de maré, assim como manguezais.

O quantitativo de edificações localizadas em áreas de risco de inundação somava 378 pontos, em 2003, aumentando para 515 no ano de 2011 e posteriormente para 551 no ano de 2020, um crescimento de 31% no número de pontos afetados no período 2003-2020. O período onde ocorreu um aumento considerável das edificações em áreas de inundação foi entre os anos de 2003-2011, algo em torno de 26%. Já no período seguinte, entre 2011-2020, a quantidade de edificações foi baixa, tendo um crescimento de apenas 6%.

Além disso, Macau se mostrou como o município do Baixo Açu com maior área urbana inserida na APP do Rio Açu, totalizando 39,2 há. Apesar disso, nesse quantitativo observa-se apenas que uma edificação está sob risco de inundação, sendo esse um dos poucos casos onde a área de APP excede os limites da máxima inundação fora da sede municipal. Na Zona rural do município foram identificados apenas mais dois pontos que também estão situados na APP do Rio Açu e sob risco de inundação (Ilustração 18).

Ilustração 18 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Macau



Fonte: Silva e Silva (no prelo)

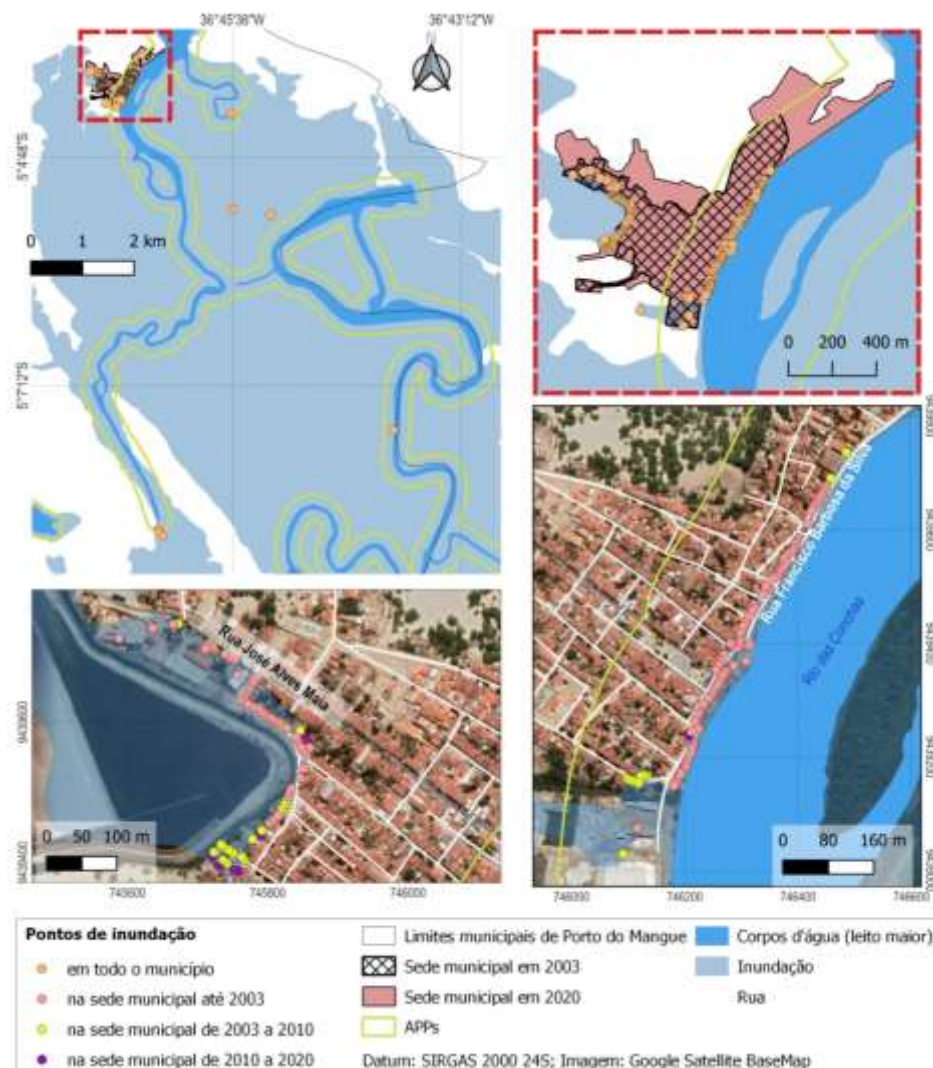
Na Cidade de Macau, a mancha de inundação avança sobre a região onde estão inseridas a Escola Estadual Donana Avelino e a Central do Cidadão (posto de serviços do Estado do RN). Outro destaque importante na cidade é a Avenida da Integração Rua Pedro Lopes de Araújo, onde o processo de ocupação se mostrou recente, entre os anos de 2011- 2020, adensando ainda mais a quantidade de edificações daquela área. É válido lembrar que, até o ano de 2003, essa avenida não existia, sendo construída ao se aterrar uma pequena faixa de um dos tanques de sal que circundam a cidade. Cabe ainda a ressalva que apesar do crescimento de edificações, ela parece saturada sem ter mais para onde se expandir.

Porto do Mangue

Por fim, tem-se o município de Porto do Mangue em que, no ano de 2003, sua sede municipal possuía uma área de 30,9 ha, com 4,3 ha (14%) inseridas em

áreas de inundação. No ano de 2020 a área urbana do município cresceu para 50,4 ha, contendo cerca de 5,4 ha (10%) inseridas na mancha de inundação do Rio Açú. Assim, as áreas urbanas da sede municipal cresceram cerca 63% no período 17 anos, enquanto as áreas, sob risco de inundação, aumentaram em 25%. Isso fez com que proporcionalmente houvesse uma diminuição no percentual das áreas urbanas sob risco de inundação (de 14% para 10%).

Ilustração 19 - Mapa dos pontos de inundação do município e da sede municipal de Porto do Mangue



Fonte: Silva e Silva (no prelo)

Já os pontos de inundação identificados foram de 117 no ano de 2003, passando 145 no ano de 2010 e posteriormente para 154 no ano de 2020, caracterizando um crescimento de 32% no período de 2003-2020. Além disso, um total de 24,5 ha da sede municipal de Porto do Mangue estão inseridos na APP do Rio Açu, e de modo similar ao observado em Macau, nota-se também em Porto do Mangue que os limites dessa APP excedem os limites da máxima inundação.

Entre as edificações identificadas em áreas de risco de inundação na sede municipal, cerca de 89 estão localizadas na área de APP. Já entre os pontos mapeados na zona rural do município, cerca de 7 estão também situados na área de APP do Rio Açu (Ilustração 19).

Observou-se que a ocupação na APP do Rio Açu em Porto do Mangue é antiga (anterior a 2003), semelhante ao que ocorre nas outras sedes municipais do Baixo Açu. Assim, poucas edificações dali vieram após 2003. Nesse contexto, a Rua Francisco Barbosa da Silva é o logradouro que possui a maior quantidade de edificações sob risco de inundação.

O que se percebe ser uma área de elevada importância para a cidade, uma vez que é ocupada diversos pontos comerciais tais como restaurantes, lanchonetes e peixarias. Assim, acredita-se que novos episódios de inundação possam não apenas trazer prejuízo material para aqueles ali instalados, mas também prejuízo econômico para a cidade devido a provável interrupção desses serviços.

A Cidade de Porto do Mangue, assim como Macau, está inserida na planície flúvio-estuarina do Rio Açu, mas, apesar disso, dispõe (ao menos aparentemente) de áreas mais favoráveis ao seu crescimento urbano, diferentemente de sua vizinha. Contudo, nota-se que a ocupação urbana à margem do Rio das Conchas (foz do Rio Açu) tem sido um dos locais de maior crescimento urbano nos últimos anos.

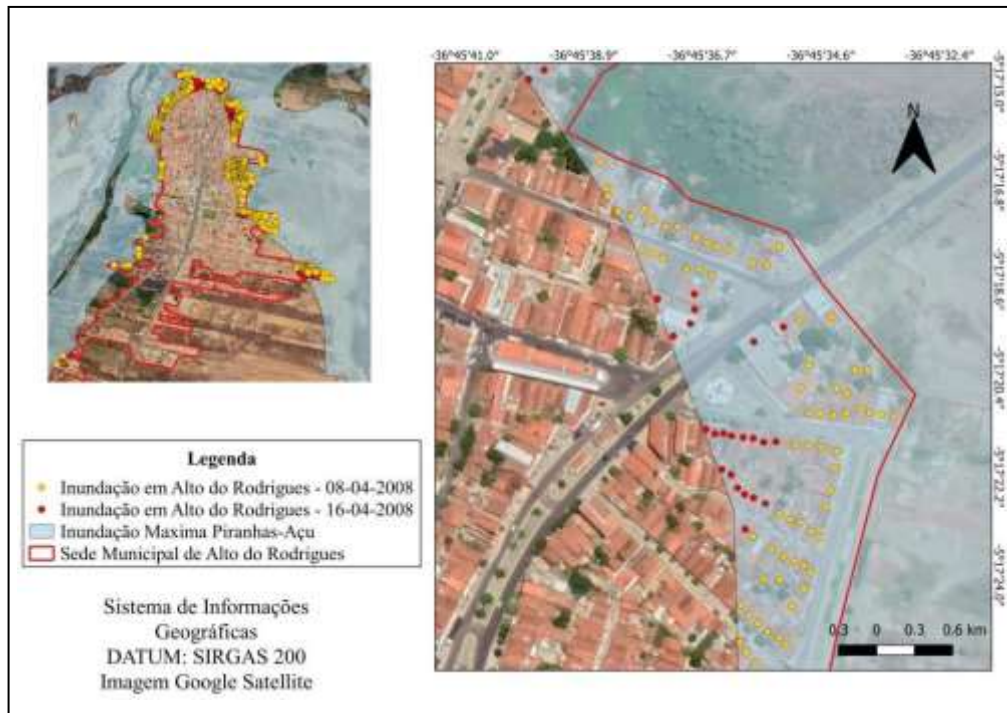
Duração dos episódios de inundação

Através das imagens dos dias 08/04/2008 (Landsat 7 ETM) e 16/04/2008 (Landsat 5 TM) foi possível verificar a situação de alguns pontos de inundação, observando se eles permaneciam alagados após 8 dias do registro (disponível) da maior área de inundação no ano de 2008.

Para a cidade de Alto do Rodrigues e Pendências, o resultado comparativo

nesse período de tempo se demonstrou baixo, sendo poucos os imóveis que deixaram de ser afetados nesse curto tempo (Ilustração 20 e 21).

Ilustração 20 – Comparação entre as áreas inundadas em Alto do Rodrigues entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008



Fonte: Próprio do autor

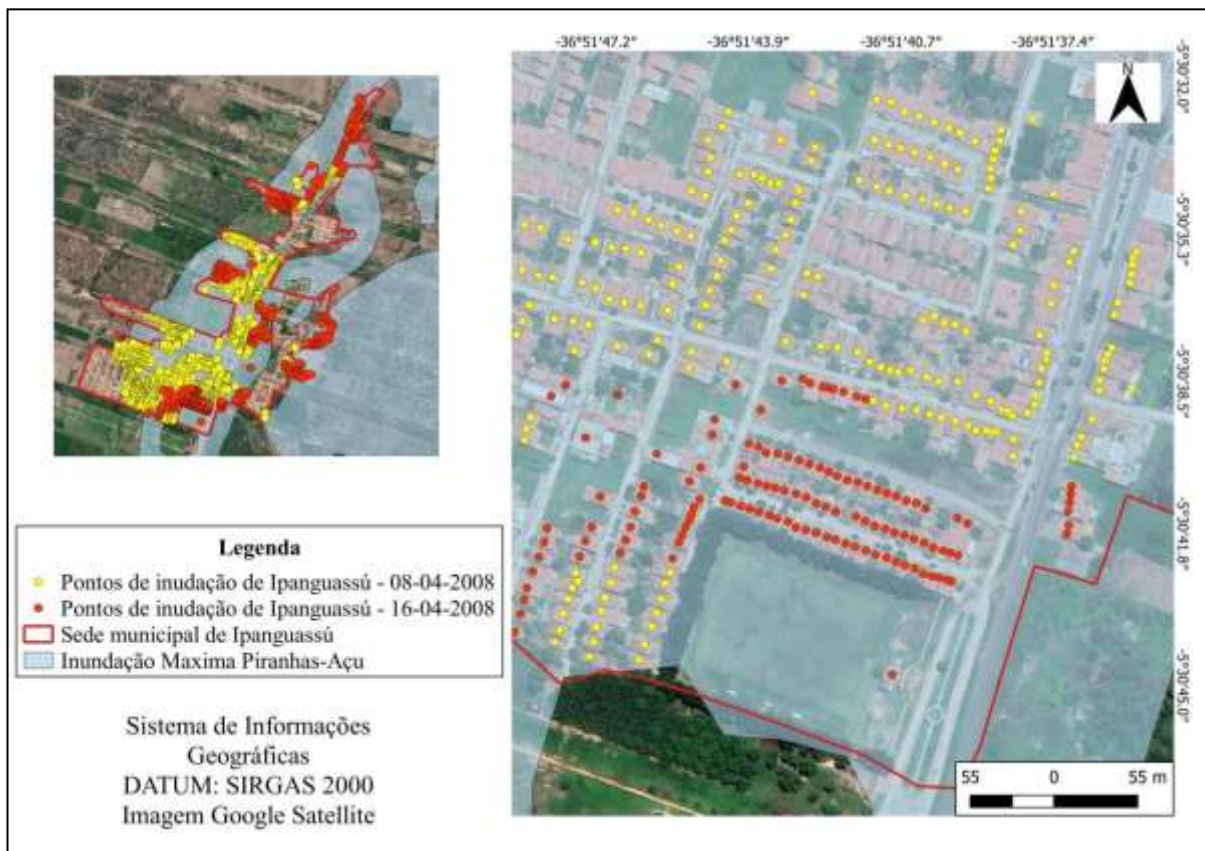
Ilustração 21 – Comparação entre as áreas inundadas em Pendências entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008



Fonte: Próprio do autor

Já a cidade de Ipanguassú apresentou uma redução considerável na área inundada entre os dias 08/04 e 16/04 de 2008, mais da metade dos pontos afetados na primeira data deixaram de ser afetados no período seguinte. Isso pode estar ligado a diversos fatores, a exemplo da rede de drenagem da área, relevo, solo, entre outros (Ilustração 22).

Ilustração 22 – Comparação entre as áreas inundadas em Ipanguassú entre os dias 08/04 e 16/04 do ano de 2008



Fonte: Próprio do autor

5. DISCUSSÕES

Na escala de extensão do Baixo Açu, a área de máxima inundação mapeada por este trabalho se assemelha ao que já foi mapeado pelos trabalhos de Oliveira et al. (2017a e 2017b), bem como ao que foi modelado por Almeida (2019). Contudo, exibem diferenças significativas quando os comparamos em escala de detalhe, sendo este trabalho aqui apresentado um retrato mais fiel das áreas já inundadas que os demais. Isso não desmerece os trabalhos anteriores, apenas reflete os diferentes objetivos aos quais se dedicaram.

Outro fator importante que difere este trabalho dos demais é a exclusão das áreas dos corpos d'água (leito maior) da mancha de inundação, algo não considerado nos trabalhos anteriores. Assim, essa conjunção de fatores (mapeamento de detalhe e exclusão dos corpos d'água) traz diferenças significativas entre os achados desse trabalho com os que já estão presentes na literatura. Para se ter ideia, este trabalho aponta que a área de inundação (incluindo os corpos d'água) que afeta o município de Assú é de 8.376 ha, enquanto Oliveira et al. (2017b) indica uma área de, aproximadamente 9.290 ha, uma discrepância de 914 ha.

Os achados desse trabalho também corroboram com os dados apresentados por Lima e Medeiros (2020), pois identificam milhares de estruturas sob risco de inundação na região do Baixo Açu, onde os municípios de Ipanguaçu e Alto do Rodrigues estão entre os mais vulneráveis. Contudo, é preciso lembrar que o trabalho supracitado utiliza a área de máxima inundação modelada por Almeida (2019), o que teria maior validade se calibrado com dados de campo ou sensoriamento remoto.

Ainda assim, percebe-se que os resultados obtidos por Lima e Medeiros (2020), aliado aos resultados alcançados com essa pesquisa, apresentam um panorama ainda maior das consequências dos eventos de inundação na região. Permitem direcionar o olhar para os problemas enfrentados, pois conferem informações sobre as estruturas urbanas e residências em áreas de risco, bem como apontam os limites que a máxima inundação pode alcançar, contribuindo, dessa forma, para uma melhor compreensão desse fenômeno e de como lidar com ele.

Sobre calibração de resultados com dados de campo, este trabalho também não está isento, uma vez que se traçou os limites da máxima inundação baseada em imagens de resolução espacial moderada (30 m), com forte presença de nuvens e, às vezes, contendo defeitos do aparelho (imagens Landsat 7 ETM). Assim, a área de máxima inundação aqui mapeada é carregada do viés interpretativo do operador.

Cabe ainda destacar que alguns dos resultados apresentados condizentes com levantamentos de mais sofisticados, como é o caso do trabalho de Araújo et al. (2021), que utilizaram geodésia de precisão atrelado a modelagem hidráulica para simular fenômenos de inundação por elevação do nível do mar na Cidade de Macau. Como Macau está inserida na planície fluvio-estuarina do Rio Açu, está sujeito a inundações provocadas pelo mar e/ou pelo Rio. Nesse caso, a área onde se encontra a Escola Estadual Donana Avelino aparece como de alto risco de inundação tanto naquele trabalho como neste.

Contudo, há outras áreas mapeadas neste trabalho como de alto risco de inundação que naquele trabalho apresentaram-se como de baixo ou nenhum risco. Esse fato é interessante, pois acaba por apontar as limitações dos dois trabalhos, já que este trabalho mede um dado real, mas utiliza informações de pior resolução e, conseqüentemente, maior viés do operador é presente, já o outro apresenta maior detalhe, pouquíssimo viés, mas traz um dado modelado, onde a ausência de alguma variável pode influenciar decisivamente nos resultados.

A duração de mais de 7 dias de inundação nos municípios de Ipanguassú, Alto do Rodrigues e Pendências, coloca-os em situação de perigo intermediário como estabelece Almeida (2019). No meio rural, tempos elevados de duração da inundação traz elevados riscos a produção agrícola, enquanto no meio urbano favorece à proliferação de doenças.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mapeou a área de máxima inundação no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Açu. Todos os municípios da região são afetados pela inundação, embora os municípios de Itajá e Afonso Bezerra apresentem poucas áreas de risco. Os três municípios mais afetados são Ipanguassú, Alto do Rodrigues e Macau. Ipanguassú tem sua sede municipal transpassada e cercada por áreas uma vez inundadas, o que faz com que praticamente qualquer crescimento urbano ocorra em área de risco.

Já a sede municipal de Macau encontra-se aprisionada na planície fluvio-estuarina do rio, sendo cercada por canais de maré, manguezais, além de tanques de produção de sal. Portanto, não dispõe de espaço para sua expansão e os poucos espaços que encontra estão inseridos na mancha de inundação. Isso faz com que haja um maior adensamento de edificações no meio urbano em locais que já eram de risco.

Os municípios de Alto do Rodrigues, Pendências e Porto do Mangue apresentam vários pontos da sede municipal em área de risco, porém aparentemente dispõe de outras áreas longe da mancha de inundação para planejar o crescimento da cidade. Assú e Carnaubais foram os municípios cujas sedes apresentaram poucos pontos em área de risco, e cujo crescimento tem se dado, principalmente, pelo afastamento das áreas inundáveis.

A ocupação de APPs não está diretamente relacionada ao fenômeno de inundação do meio urbano na região do Baixo Açu. A exemplo disso, as cidades de Assú, Ipanguaçú e Carnaubais, encontram-se centenas a milhares de metros distantes das APPs e, mesmo assim, são atingidas pela máxima inundação. Já na planície flúvio-estuarina, ocorre quase que o contrário, com a inundação afetando pouco as APPs do Rio Açu, caso de Macau e Porto do Mangue. Já para os municípios do Alto do Rodrigues e Pendências, fica claro que se essas áreas não tivessem sido ocupadas, haveria bem menos imóveis em situação de risco.

Cabe destacar que esse estudo, por ter sido realizado apenas de forma remota, tem suas limitações. Dados de campo tais como entrevistas com moradores antigos que precisariam os episódios de inundação ali existentes poderiam ajudar a calibrar a extensão da mancha de inundação. Sugere-se que trabalhos futuros possam vir a suprir essa necessidade. Além disso, seria

importante verificar o perfil dos moradores das áreas sob risco para saber a quanto tempo estão ali, bem como seu conhecimento sobre as inundações naquela região. Outra limitação encontrada diz respeito as edificações demarcadas, as quais não foram melhor descritas pelo fato de não ser possível unicamente com imagens de satélite fazer sua correta identificação (e.g. residências, garagens, pontos comerciais, prédios públicos, etc). Embora existam alguns bancos de dados de acesso gratuitos (e.g. *Open Street Maps* e *Google Maps*), essa análise de detalhamento só seria possível através de estudos de campo.

Sobre o que motiva a existência e crescimento de áreas urbanas sob a mancha de inundação, não se pode afirmar nada nesse trabalho, mas aqui é fornecida uma base de dados para essa discussão. Sabe-se que a atuação do poder público nessas áreas requer grande atenção. E, se por um lado, o poder público devesse evitar promover melhorias em áreas de risco para desencorajar a expansão urbana nessas áreas, por outro lado também se tem a questão do direito à cidade, que deve ser promovido às pessoas situadas em áreas de vulnerabilidade socioambiental, como o acesso à saúde, saneamento básico, educação, lazer e etc.

É válido lembrar que em muitas situações a população é colocada como a principal responsável por estar situada em área de risco, porém, muitas vezes, é algo imposto pela própria organização e configuração urbana. É preciso destacar que o mais importante nessa discussão não é procurar “culpados”, mas sim alternativas que reduzam os impactos gerados pelos eventos de inundação.

Por fim, espera-se que esse estudo, assim com alguns outros já existentes, seja visto como ponto de partida para a busca de alternativas de enfrentamento a episódios de inundação, promovendo, dessa forma, uma melhor organização do espaço geográfico das cidades do Baixo Açu.

Essa necessidade é urgente, pois, com passar do tempo, mais e mais pessoas tem se instalado nas áreas de risco aqui apresentadas, e mesmo numa região de clima semiárido, os episódios de inundação não são tão incomuns. Além disso, diante do quadro global de mudanças climáticas, as inundações podem se fazer mais abrangentes e severas do que já se viu.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, G. P; SÁ, A.J. Vale do Açu-RN: a passagemdo extrativismo da carnaúba para a monocultura de banana. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 3, set/dez. 2009.

ALMEIDA, R.T.O. **Mapeamento de perigo de inundação incorporando o indicador tempo**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, RN, 2019. 46 f.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Rios Eletrônica**, ano 5, n. 5, p. 89-98. Bahia, 2011. Disponível em: <https://www.unirios.edu.br/revistarios/internas/conteudo/resumo.php?id=84>.

BRASIL. A. L. C. C. Ministério da Integração Nacional. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. v.1.

BRASIL. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu**. Brasília: ANA, 2016.

CORRÊA, C.A; COSTA, A.J.T. **Usos na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul: consideração acerca de escassez de água, inundações e área de preservação permanente no trecho Fluminense**. *Revista de Geografia*, v.33, No.3, Recife, 2016.

COSTA, F.R. **Inundações urbanas no Semiárido Nordestino: o caso da cidade de Pau dos Ferros – RN**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. Natal, RN, 2010. 86 f.

COSTA, J.R.S. **Análise da vulnerabilidade e gestão de risco adesastres por inundação em municípios do Vale do Açu/RN**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. João Pessoa, PB, 2012. 164 f.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgar Blücher, 1980. 101 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blücher, 1981. 51 p.

FREIRE, J. L. M; LIMA, J. R. A; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, 429-444, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232719>.

GUERRA, A.T; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico..** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

HESPANHOL, A.N. **Apropriação de recursos naturais pela fruticultura irrigada no semiárido do Rio Grande do Norte – Brasil.** Ci. & Tróp.Recife, v. 41, n. 1, p. 103-118, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE Cidades. Disponível em:<https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 de nov. de 2021.

IPCC. **Climate Change 2021 The Physical Scienci Basis.** 2021. Disponível em:
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_s_maller.pdf. Acesso em: 18 de nov. de 2021.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Ed. Organic Trading, Curitiba, 2009. 109p.

LIMA, B.A; MEDEIROS, J.D.F. **Consequências dascheias no Baixo Açú – Estudo de Caso.** XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Caruaru, 2020.

MACÊDO, J.A; SANTOS, J.O. **Caracterização de eventosmáximos de precipitação no semiárido cearense.** Paper do NAEA, v. 30, n.1, ed. 528. Ceará, 2021.

MEDEIROS, M.D. **Eventos hidroclimáticos extremos e vulnerabilidade socioambiental a inundações no Baixo-Açú-RN.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2018. 209 f.

MEDEIROS, M.D; ZANELLA, M.E. Estudos das vazões e estimativas de inundações no baixo Açú-RN. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, e, 40946, 2019.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro.** XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, 1-10, 2002.

NEVES, J.A. et. al. **Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)no monitoramento de eventos extremos na Bacia do Rio Piranhas-Açú – Rio Grande do Norte e Paraíba.** XIII Simpósio de recursos hídricos do Nordeste. Aracaju, 2016. 10 p.

OLIVEIRA, A. M. **Geoecologia do baixo curso do rio Piancó- Piranhas-Açú.**

Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Caicó, 2017. 98 f.

OLIVEIRA, A.M. GUEDES, J. C.F; COSTA, D.F.S. **Usos e ocupações da terra na planície de inundação do baixo curso do rio Piancó-Piranhas-Açu (RN)**. XVII Simpósio de Geografia Física Aplicada. Campinas, 2017. 11p.

PRESS, F; SIEVER, R; GROTZINGER, J; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ALMEIDA, R.T.O. **Mapeamento de perigo de inundação incorporando o indicador tempo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 2019. 46 f.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2013. 142 p.

SILVA, L.P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, João Pessoa, 2007. 114 f.

SILVA, A. G. Trabalho e Tecnologia na Produção de Frutas Irrigadas no Rio Grande do Norte. In: CAVALCANTI, J. S. B. (Org.). **Globalização, Trabalho, Meio Ambiente: Mudanças socioeconômicas em regiões frutícolas para exportação**. Recife: Ed. Universitária/UFPE, 1999.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001.

TRIBUNA DO NORTE. **60 famílias estão desabrigadas em Ipanguaçu**. 2011. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/60-familias-estao-desabrigadas-em-ipanguacu/179919>. Acesso em: 01 de jun. de 2021.

TRIBUNA DO NORTE. **Temor de enchentes afeta produção**. 2011. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/temor-de-enchentes-afeta-producao/172005>. Acesso em: 01 de jun. de 2021.

TEIXEIRA, Wilson et. al. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2000.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, Carlos E. M; BERTONI, J. C. (Org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

UOL Notícias. **Chuvas matam cinco pessoas e deixam 10 mil sem-teto no Rio Grande do Norte**. 2008. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultnot/2008/04/07/ult23u1761.jhtm>. Acesso em: 01 de

jun.de 2021.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento.
Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 1, n. 1, p. 48-58, 2000.

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Assunto: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Assinado por: Alessandro Silva
Tipo do Documento: Tese
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Alessandro Michell de Araújo Silva, ALUNO (201913300035) DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO - CAMPUS PICUÍ, em 27/04/2022 23:01:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 27/04/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 500591
Código de Autenticação: 206e1eece

