



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO BACHAREL EM ECONOMIA ECOLÓGICA

MARIA VITÓRIA FERREIRA SARAIVA RODRIGUES

**A PERSPECTIVA DA ECONOMIA ECOLÓGICA SOBRE A MUDANÇA DE
TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ**

FORTALEZA

2021

MARIA VITÓRIA FERREIRA SARAIVA RODRIGUES

A PERSPECTIVA DA ECONOMIA ECOLÓGICA SOBRE A MUDANÇA DE
TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Economia Ecológica da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito à obtenção do título de Bacharel em
Economia Ecológica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Maia Sobral

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R614p Rodrigues, Maria Vitória Ferreira Saraiva.
A Perspectiva da economia ecológica sobre a mudança de temperatura no município de Fortaleza, Ceará /
Maria Vitória Ferreira Saraiva Rodrigues. – 2021.
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Economia Ecológica, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Fábio Maia Sobral .

1. Geoprocessamento. 2. Interdisciplinar. 3. Plano Diretor. I. Título.

CDD 577

MARIA VITÓRIA FERREIRA SARAIVA RODRIGUES

A PERSPECTIVA DA ECONOMIA ECOLÓGICA SOBRE A MUDANÇA DE
TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Economia Ecológica da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito à obtenção do título de Bacharel em
Economia Ecológica.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Maia Sobral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Aécio Alves de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua provisão, por ser o guia até aqui, por me dar forças para continuar independente das dificuldades e tornar esse trabalho possível.

Agradeço ao meu esposo, Thiago Rodrigues, que me incentivou, especialmente com discussões instigantes que produziram pensamentos críticos em mim e pelo apoio, especialmente na reta final, à parte mais difícil.

Quero deixar meus agradecimentos a minha família. Sou grata à minha mãe, Maria Ferreira, que sonhou com esse momento pra mim antes mesmo de eu sonhar e a minha irmã, Lívia Ferreira, por ouvir todas as minhas descobertas e discuti-las comigo, vocês são incríveis.

Sou grata aos meus professores, que me formaram, através das disciplinas, dos textos e do encorajamento, esse trabalho é um pequeno fruto do que vocês ensinaram. Em especial ao meu orientador, Professor Fábio Sobral, que me ajudou com a pesquisa, as revisões e as dicas que fizeram a diferença.

Sou grata ao grupo GAMA-DT, onde convivi quase dois anos, período esse que me direcionou fortemente no tema e metodologia deste trabalho. Foi neste período que mais desenvolvi ideias e trabalhei, foram os momentos mais proveitosos destes quatro anos de graduação.

Agradeço aos meus colegas de turma e aqueles de outros cursos com quem tive o prazer de trabalhar, discutir e aprender. De maneiras que vocês nem imaginam acabaram por formar meu conhecimento também.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Estudos Interdisciplinares pela oportunidade de construir conhecimento.

“Não se pode entender um processo interrompendo-o. O entendimento precisa acompanhar o fluxo do processo, tem de se juntar a ele e fluir com ele.”

- Duna (Frank Herbert, 1965)

RESUMO

A Economia Ecológica é um campo de estudo atual e interdisciplinar que busca entender as relações entre ciência humana e natural. Tem como marco histórico a fundação da Sociedade de Economia Ecológica Internacional (ISEE) nos anos de 1980 e da Revista *Ecological Economics*. O pensamento da Economia Ecológica estrutura-se no princípio de que o funcionamento do sistema econômico deve ser compreendido e estruturado a partir dos limites e condições do mundo biofísico. A Economia, aos olhos na Economia Ecológica não é um sistema fechado, pois seus processos externalizam energia e rejeitos; o que nos leva a questionar os impactos que esses fluxos e balanços estão influenciando nas cidades. O princípio de relacionamento entre os conhecimentos estará implícito neste trabalho. Pois a proposta é entender algumas conexões existentes, entre a temperatura do município de Fortaleza, capital do estado do Ceará, Brasil, com as econômicas, a sociedade e as instituições gestoras, buscando através das “lentes” da Economia Ecológica, um conhecimento complexo nos diferentes campos do conhecimento e nos sujeitos históricos. A metodologia utilizada para quantificar a temperatura de superfície foi obtida no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) de acordo com os parâmetros do satélite Landsat 5 e Landsat 8, usando uma equação para obtenção dos valores de radiação e para a conversão em Temperatura de Superfície Terrestre (TST) no software ArcGIS 10.5 e ENVI 5.1. Utilizou-se imagens da missão Landsat 5 e 8, nos anos de 1990, 2000, 2005, 2015 e 2019, com intuito de criar uma série histórica dos últimos 30 anos. Os resultados obtidos demonstram um aumento na temperatura da cidade de Fortaleza no decorrer dos anos que está associado ao crescimento urbano, à densidade, as ações realizadas pela gestão da cidade com base nos planos diretores. Através da perspectiva da Economia Ecológica observamos um tema central com suas ramificações, percebendo a importância da análise conjunta da pesquisa interdisciplinar.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Interdisciplinar, Plano Diretor

ABSTRACT

Ecological Economics is a current and interdisciplinary field of study that seeks to understand the relationship between human and natural science. Its historical landmark is the foundation of the International Ecological Economics Society (ISEE) in the 1980s and the Ecological Economics Magazine. The thinking of Ecological Economics is based on the principle that the functioning of the economic system must be understood and structured based on the limits and conditions of the biophysical world. Economics, in the eyes of Ecological Economics, is not a closed system, as its processes externalize energy and waste; which leads us to question the impacts that these flows and balance sheets are influencing in the cities. The principle of relationship between knowledge will be implicit in this work. Because the proposal is to understand some existing connections, between the temperature of the city of Fortaleza, capital of the state of Ceará, Brazil, with the economic, society and management institutions, searching through the “lenses” of Ecological Economics, a complex knowledge in the different fields of knowledge and in historical subjects. The methodology used to quantify the surface temperature was obtained on the website of the United States Geological Survey (USGS) according to the parameters of the satellite Landsat 5 and Landsat 8, using an equation for obtaining the radiation values and for converting to Temperature of Terrestrial Surface (TST) in ArcGIS 10.5 and ENVI 5.1 software. Images from the Landsat 5 and 8 mission were used in the years 1990, 2000, 2005, 2015 and 2019, in order to create a historical series from the last 30 years. The results obtained demonstrate an increase in the temperature of the city of Fortaleza over the years that is associated with urban growth, density, the actions carried out by the city management based on the master plans. Through the perspective of Ecological Economics, we observed a central theme with its ramifications, realizing the importance of joint analysis of interdisciplinary research.

Keyword: Geoprocessing, Interdisciplinary, Master Plan

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEORICO	11
2.1	Economia Ecológica	11
2.1.1	Sistema Fechado e Sistema Aberto	11
2.1.2	Segunda Lei da Termodinâmica	14
2.1.3	Consumo	15
2.1.4	Antropoceno	16
2.2	Temperatura de Superfície Terrestre (TST)	17
2.2.1	Temperatura	17
2.2.2	Sensoriamento Remoto	18
2.2.2.1	Sistemas Sensores e Orbitais	18
2.2.2.2	Comportamento Espectral	19
2.2.3	Geoprocessamento	21
2.3	Gestão Urbana	21
2.3.1	Plano Diretor	21
2.3.1.1	Plano Diretor de Fortaleza 1979	22
2.3.1.2	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano 1992	22
2.3.1.3	Plano Diretor Participativo 2009	23
2.3.2	Plano de Arborização de Fortaleza	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Área de Estudo e Fluxograma	25
3.2	Coleta de dados	26
3.3	Classificação	27
3.4	Temperatura de Superfície Terrestre (TST)	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31

4.1	Uso e Ocupação do solo	31
4.2	Temperatura de Superfície de Fortaleza	32
4.3	Plano Diretor e Plano de Arborização	35
4.4	O ponto de vista da Economia Ecológica	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um dos assuntos pautados pelos cientistas e organizações mundiais, existem pesquisas em diversas áreas sobre o assunto, isso porque o clima tem uma influência sobre o dinamismo dos sistemas ambientais e dos seres vivos. Da mesma forma, em menor escala, a preocupação com as mudanças na temperatura local devem ser consideradas. Estas alterações estão imprescindivelmente ligadas a outros fatores, como as interferências antrópicas, que estão em maior escala nas áreas de elevado grau de urbanização.

A Economia Ecológica é uma área de estudo interdisciplinar que correlaciona conhecimentos para uma melhor compreensão do assunto, buscando observar variáveis comumente esquecidas nas ciências econômicas, agrupando conhecimentos ambientais, estudos e percepções da sociedade para a maximização do entendimento dos processos naturais, como a mudança de temperatura nos últimos 30 anos na cidade de Fortaleza. A percepção econômica ecológica é uma ferramenta crítica expressiva para a análise dos mais diversos assuntos.

Por isso, o presente trabalho busca utilizar o pensamento interdisciplinar da Economia Ecológica para abordar a mudança de temperatura da superfície do município de Fortaleza. Para tanto, se fez necessário enunciar sobre Economia Ecológica e seus conceitos relacionados ao tema; conceituando sobre os fluxos econômicos e naturais, a lei da entropia e os processos físicos antrópicos que contribuem para mudanças no ambiente.

Como metodologia buscou-se calcular a temperatura da superfície terrestre (TST) do município a fim de produzir mapas térmicos pela utilização de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto através de imagens de satélite. Posteriormente, com o intuito de entender como ocorreu o crescimento da cidade, buscou-se elencar e relacionar a principal política de desenvolvimento do município de Fortaleza com a variação de temperatura, através da leitura dos Planos diretores no decorrer dos anos avaliados, para demonstrar a variabilidade contributiva da Economia Ecológica.

A realização deste trabalho veio pelo desejo de fornecer conteúdo sobre o campo de estudo da Economia Ecológica apresentando seus conceitos e a aplicação do pensamento na análise da temperatura do município de Fortaleza - CE, com a finalidade de que, o público, possa obter informações sobre a interdisciplinaridade e sua possível contribuição nos mais diversificados campos de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Economia Ecológica

Neste item serão apresentados alguns conceitos da Economia Ecológica, conceitos estes mais observados nas referencias utilizadas, de autores que são mais influentes para a formação do pensamento e perspectiva da Economia Ecológica.

2.1.1 Sistema Fechado e Sistema Aberto

A partir do momento que nascemos, iniciamos o processo de compreender a vida e a realidade que vislumbramos todos os dias. Esse processo é formado por meio do que está disponível ao nosso redor, seja as informações dentro da esfera familiar, seja esfera governamental e política. O filósofo e economista Fritjof Capra (1996, p. 14) debate uma nova percepção da realidade, uma que “tem profundas implicações não apenas para a ciência e para filosofia, mas também para as atividades comerciais, a política [...] e a vida cotidiana.”.

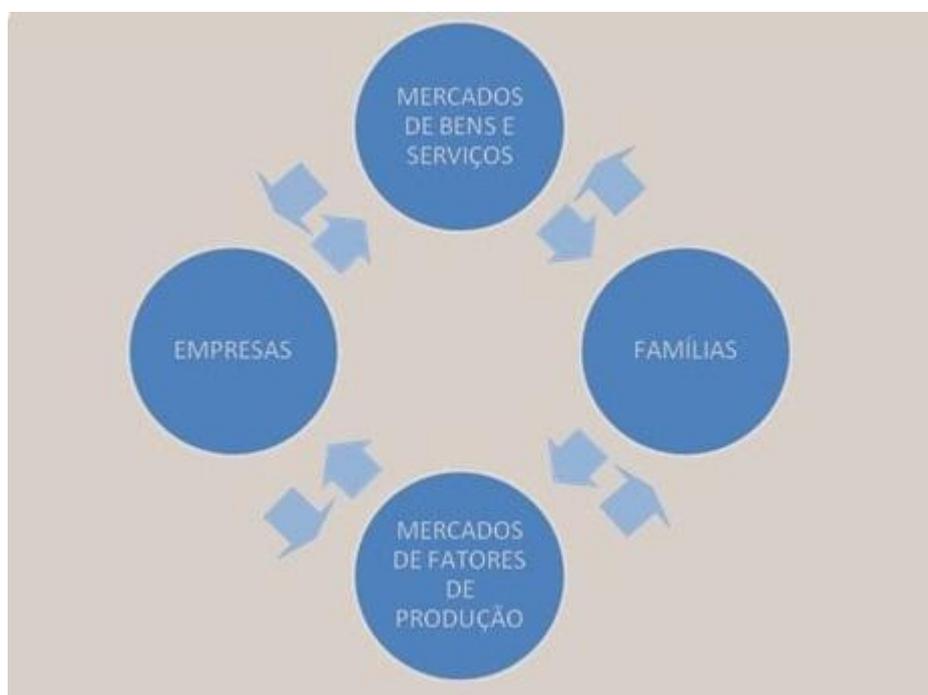
As preocupações com o meio ambiente foram adquirindo relevância nas pautas governamentais no decorrer do último século. Houve, neste momento, uma crise de percepção do mundo que com o avanço populacional trouxe inúmeros problemas complexos que não poderiam, nem deveriam, serem compreendidos de forma isolada. Pois, a utilização de uma visão holística, como a Economia Ecológica, reconhece a interdependência fundamental de que estamos todos encaixados nos processos cíclicos da natureza e somos dependentes desses processos, além de trazer questionamentos sobre o modo de produção capitalista e o modo de vida materialista (CAPRA, 1996).

A Economia Ecológica nasceu através da percepção e questionamento de uma Economia fechada pregada pelos tradicionais economistas (AMAZONAS, 2001). “A visão que se tem do sistema econômico é a de um sistema fechado e circular. Fechado, pois não entra nada de novo e também não sai nada. E circular, pois pretende mostrar como circulam o dinheiro e os bens da economia.” (CECHIN e VEIGA, 2010, p. 440); O sistema produtivo circula o dinheiro e os bens entre o mercado, as empresas e as famílias (Figura 1), pensando desta maneira a afirmação dos economistas é coerente, contudo, e é aqui que está a contestação: De onde é adquirida a matéria prima para tal transformação industrial no mercado de produção?

Os economistas dirão que provém da natureza, esta que eles consideram como produto para funcionalidade do processo (CECHIN e VEIGA, 2010) e que juram que tudo que a natureza oferece não passa de um dom gratuito (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

Contudo, para eles não parece ser possível enxergar a quebra do pressuposto de um sistema fechado, já que no momento que a economia se utiliza de material orgânico e inorgânico para seu processo produtivo e fomento do mercado ela pode ser vista como uma economia aberta que internaliza em suas transformações os mais variados elementos naturais.

Figura 1 - Fluxo circular econômico



Fonte: Blog Direito de Boteco, 2011.

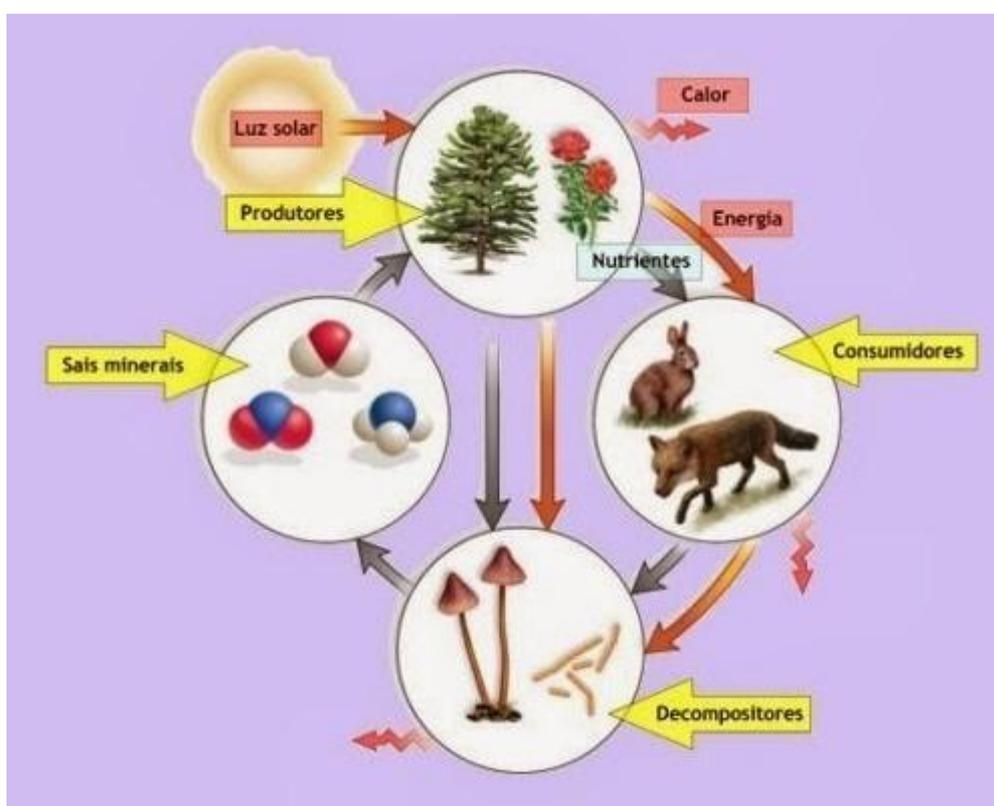
Para além dessa observação, passamos ao final desse processo, que se dá ao momento que o produto chega às mãos do consumidor. Por exemplo, pensemos em um smartphone; Podemos afirmar, por experiência, que a maior parte deles, independente de marca e modelo não tem em seu planejamento uma durabilidade significativa. Isso porque o sistema produtivo capitalista impõe o desgaste dos produtos para que o consumidor possa adquirir outro produto e por meio disso a moda, o marketing e a tecnologia ganhem mercado, esse mecanismo é chamado de ‘Obsolescência Programada’. O smartphone ao fim de sua vida de uso retorna ao meio externo, já que o mesmo não pode continuar circulando no sistema econômico, contudo ele não se encontra em seu estado original, pois foi transformado em partes do objeto todo e composto de outras substâncias, sendo assim um produto não degradável e que não será reutilizado, o que quebra a funcionalidade do ecossistema.

O ecossistema natural por outro lado é considerado um sistema aberto, isso porque trocam tanto energia quanto matéria (CECHIN e VEIGA, 2010). Este é de tamanha

complexidade que mesmo os mais dedicados estudiosos não poderiam explicar sua totalidade, já que ainda existe muito a ser descoberto; Contudo, de forma mais simplificada e ainda assim mais complexa que o sistema econômico, esse sistema natural permite fluxos energéticos e os balanços de materiais orgânicos e inorgânicos.

Diferentemente do sistema econômico que é fechado, os ecossistemas do planeta são abertos, isso porque eles estão em constante fluxo de energia e da entrada e saída de matéria. Por exemplo: Pensemos em um pequeno bosque onde podemos encontrar animais, plantas e bactérias; Cada um destes seres interage para formar o fluxo de matéria e energia. As árvores que são as produtoras recebem luz solar e fazem assimilação da energia térmica para transformar em energia química que permite as plantas produzirem alimento para os herbívoros, este por sua vez é alimento de um carnívoro e os dois quando excretam seus alimentos estão contribuindo para o trabalho das bactérias de assimilarem minerais para nutrição das plantas que estão do início deste ciclo (Figura 2).

Figura 2 - Fluxo circular ecológico



Fonte: Jovem ecólogo, 2019.

A energia é dissipada (observe as setas em vermelho) em forma de calor na transpiração das plantas e dos animais e pelas reações químicas das bactérias, essa energia é

perdida e não pode ser novamente utilizada no ciclo do ecossistema, contudo ela é de baixa entropia (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

2.1.2 Segunda Lei da Termodinâmica

Georgescu-Roegen (2012. p.58) diz em seu livro sobre a Lei da Entropia: “A energia se apresenta sob dois estados qualitativamente diferentes, a saber, a energia *utilizável* ou *livre*, sobre a qual o homem pode exercer um domínio quase completo, e a energia *não utilizável* ou *presa*, que o homem não pode absolutamente utilizar”. A entropia é exercida nos mais diversos processos humanos, desde cozer a maioria de seus alimentos, até o corte de uma árvore ou o refinamento do petróleo e por isso que o ser humano é a única exceção como ser vivo, já que os animais vivem de baixa entropia. “A lei da entropia nos ensina que a regra da vida biológica, e no caso do homem, de sua continuação econômica, é muito mais severa. Em termos de entropia, tais atividades se traduzem necessariamente por um déficit” (GEORGESCU-ROEGEN, 2012. p. 62).

As atividades antrópicas estão negativando o equilíbrio do ecossistema. Isso por que a produção de substâncias e resíduos não são reintroduzidos no sistema operacional, ou seja, os resíduos não são utilizados de forma útil para que o equilíbrio seja mantido, pelo contrario, as atividades do dia a dia, geração de lixo, atividades econômicas, como a construção de indústrias ou mesmo a fabricação de alimentos deixa resíduo que se perde do processo e dessa forma sua energia é inutilizada e negativada do sistema. Assim, a cada novo processo o sistema necessita de nova reentrada de matéria prima e que no fim do processo, novamente é inutilizada, proporcionando novo acúmulo de energia inutilizada. Além deste acúmulo, este resíduo não são estático, ele continuam a interagir com o ambiente, principalmente na forma de poluição e que ocasiona problemas ambientais.

As escolas de pensamento econômico compartilham da visão de um sistema econômico isolado o que as deixa debaixo do mesmo “guarda chuva” (CECHIN e VEIGA, 2010), assim o pensamento apresentado por Georgescu que fundamenta a Economia Ecológica estão na chuva, ou seja, não estamos isolados, na verdade estão inteiramente expostos ao externo do conhecimento e não existem fronteiras para observação do processo econômico. Portanto, a Economia Ecológica enxerga a Economia convencional, seu sistema produtivo e a circulação de mercadorias de forma aberta, entendendo que ele recebe matéria prima para suas transformações industriais e que no fim do processamento descartam de maneira insustentável para o ecossistema natural.

2.1.3 Consumo

A sociedade de consumo emergiu de forma aparente no final do século XVIII e início do século XIX (ZANIRATO e ROTONDARO, 2016). Esse estado radical entre velho e novo veio de um longo processo de pequenas mudanças na cultura, na conduta e nos valores da sociedade, que a partir desse momento passam a ser materialistas e apaixonadas pela novidade. Esse movimento passou a expressar nas pessoas o sentimento de felicidade ligado ao ato de consumir, o que fazia a demanda por produtos melhores impulsionar um processo de inovação, que por sua vez trabalhava para suprir a busca da felicidade (ZANIRATO E ROTONDARO, 2016).

A busca pela felicidade através do consumo foi incentivada pela publicidade, que seduz o consumidor a obter novos objetos, movimentando o setor industrial e torna irracional o ato da compra. No passado, os objetos eram adquiridos de acordo com a necessidade do indivíduo, tendo em vista o comer, vestir e outros; Em novo tempo, é comum e incentivado obter além daquilo que atende as necessidades e às vezes nos momentos que não existe a necessidade física, isso se deu também pela transformação da felicidade em uma necessidade como qualquer outra.

Insatisfeitos com a compra desenfreada do consumidor, a indústria e o mercado tornaram os produtos obsoletos rapidamente, seja pelo tempo de uso curto, em que o produto se torna inutilizável ou pelo novo modelo daquele produto que causa em nós a “necessidade” de se manter na moda, uma característica contemporânea. Lipovetsky diz de maneira ampliada a razão para tal particularidade:

Quanto mais somos estimulados a comprar compulsivamente, mais aumenta a insatisfação. Desse modo, a partir do momento em que conseguimos preencher alguma necessidade, surge uma necessidade nova, gerando um ciclo em forma de “bola de neve” que não tem fim. Como o mercado sempre nos sugere algo mais requintado, aquilo que já possuímos acaba ficando invariavelmente com uma conotação decepcionante. (2007, p.23)

Contudo, recentemente a visão sobre o consumo vem sendo observada de maneira mais racional por uma parcela da sociedade. A compreensão da finalidade dos recursos naturais e do excessivo descarte leva a exigência de maneiras de consumo, de produção e descarte que sejam menos agressivas ao meio ambiente. Prontamente, o mercado viu neste apelo a oportunidade de um bom negócio, de manter o desenvolvimento econômico atendendo um novo tipo de cliente, abrindo um novo caminho de consumo, alegando o investimento no desenvolvimento sustentável.

De certa forma o mercado, o consumo e o descarte podem contribuir para instauração de uma nova época geológica com a contribuição da humanidade e seus impactos, questão que articulamos a seguir.

2.1.4 Antropoceno

Dentro da comunidade científica, tem sido discutida a caracterização de uma nova época geológica chamada de Antropoceno. (COSTA, 2019). Acredita-se que com o surgimento da agropecuária, do desmatamento e do agrupamento humano em espaços, os seres humanos iniciam um impacto sobre o ambiente natural, diferente das outras espécies do planeta. Então, em meados do século XVIII, com a Revolução Industrial e posteriormente com a efetivação do modelo econômico capitalista, que proporcionou por meio da indústria de consumo um número descomunal de resíduos, assumimos outra proporção a respeito da perturbação do sistema natural.

Hoje, é possível ver as consequências em toda parte, desde lixo nas praias a vazamento de óleo; de Chernobyl à Mariana; do uso do solo às mudanças de temperatura, de certa forma o homem tem deixado uma marca de sua passagem no planeta.

Entretanto, a definição oficial é um processo demorado, pois os geólogos são cientistas meticolosos, ainda mais quando é necessário que no futuro seja possível comprovar a existência humana através de estudos geológicos, para tanto é preciso estar gravado na rocha, como os dinossauros foram um dia. Por isso, a Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS, na sigla em inglês), trabalhou com um grupo de estudo do Antropoceno com a finalidade de avaliar se a época estaria encaixada nos princípios necessários, para então ter o mérito de integrar a cronologia da Terra. Todavia, com todas as alterações que a humanidade já fez, não será difícil os geólogos encontrarem algo que possa marcar essa época.

Com estas interferências diretas, outras mudanças indiretas sucederam como prova disto, todos os anos mais quentes, exceto 1998, se encontra no século XXI (HANSEN, 2017 *apud*. COSTA, 2019). As mudanças na atmosfera geram um desequilíbrio no clima. A estabilidade deste sistema depende das interações entre radiação e reflectância, executadas de maneira natural pela organização do planeta. Parte da radiação emitida pelo sol que chega a terra é refletida de volta ao espaço, uma porção disso é contida pelos gases atmosféricos e nesse processo a terra se mantém quente para gerar vida, contudo a sobrecarga destes gases pelas ações humanas tem acumulado, além do necessário, energia térmica no planeta, esse desequilíbrio energético repercute no rápido aquecimento global. Contudo, as mudanças no clima não se limitam somente às mudanças de temperatura (COSTA, 2019).

As mudanças podem ser vistas, também, nas queimadas que quebram recordes na Austrália; no período chuvoso intenso que destruiu cidades em Minas Gerais; no Ciclone que deixou vítimas na África; a seca no Nordeste que suscitou em reservatórios com estado crítico ou em nível morto, entre outros; Estes são pequenas parcelas das mudanças humanas, da época em que o homem cravou, de forma muito destruidora, sua existência no planeta.

2.2 Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Neste item serão apresentados conceitos para melhor compressão da metodologia aplicada neste trabalho, tendo em vista a temperatura de superfície de forma técnica e direta.

2.2.1 Temperatura

Ayoade (2006) define temperatura como: “A condição que determina o calor que passa de uma substância para outra, esse calor se desloca do corpo com temperatura mais elevada para o corpo com a temperatura mais baixa, essa temperatura é determinada pelo balanço de radiação que chega ao corpo e o que sai dele”. A compreensão dos processos deste trabalho está correlacionada com a radiação que chega do sol à superfície e que posteriormente é dispersa pelos fluxos do sistema natural da terra.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas define Mudança Climática como:

Mudança climática refere-se a uma variação estatisticamente significativa nas condições médias do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um longo período – geralmente décadas ou mais. Pode advir de processos naturais internos ou de forçamentos naturais externos, ou ainda de mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo. (IPCC, 2001 *apud* NAHUR, 2015).

Estas mudanças, de temperatura especificamente, podem ser observadas em áreas urbanas, isso porque essas áreas são mais propícias à formação de ilhas de calor. As ilhas de calor estão relacionadas aos materiais de construção que absorvem e armazenam mais energia solar e por sua indisponibilidade de umidade para dissipar o calor.

As temperaturas de superfícies escuras como concreto asfáltico, comum em vias urbanas, pode chegar a 88°C durante o dia, enquanto superfícies com vegetação e umidade atingem apenas 18°C. Temperaturas elevadas, poluição do ar e menores velocidades do vento estão associadas ao desconforto térmico, problemas de saúde e consumo de energia (GARTLAND, 2010).

Com o maior desenvolvimento e aproveitamento dos sistemas de comunicação, a circulação de informações climáticas se tornou mais acessível e a técnica utilizada para melhor obtenção de dados de temperatura é o sensoriamento remoto.

2.2.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto pode ser definido como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor de radiação eletromagnética) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno investigado, que podem ser interpretadas para fornecer informação útil sobre o ambiente (LILLESAND e KIEFER, 1994 e CURRAN, 1985 *apud* SOUZA, 2010). Apesar de outros sensores permitirem a aquisição de informações de maneira remota, o termo sensoriamento remoto se tornou restrito ao uso de sensores eletromagnéticos, e então a palavra remoto ganhou a conotação de distância física, quando os sensores foram colocados em satélites (NOVO, 2008).

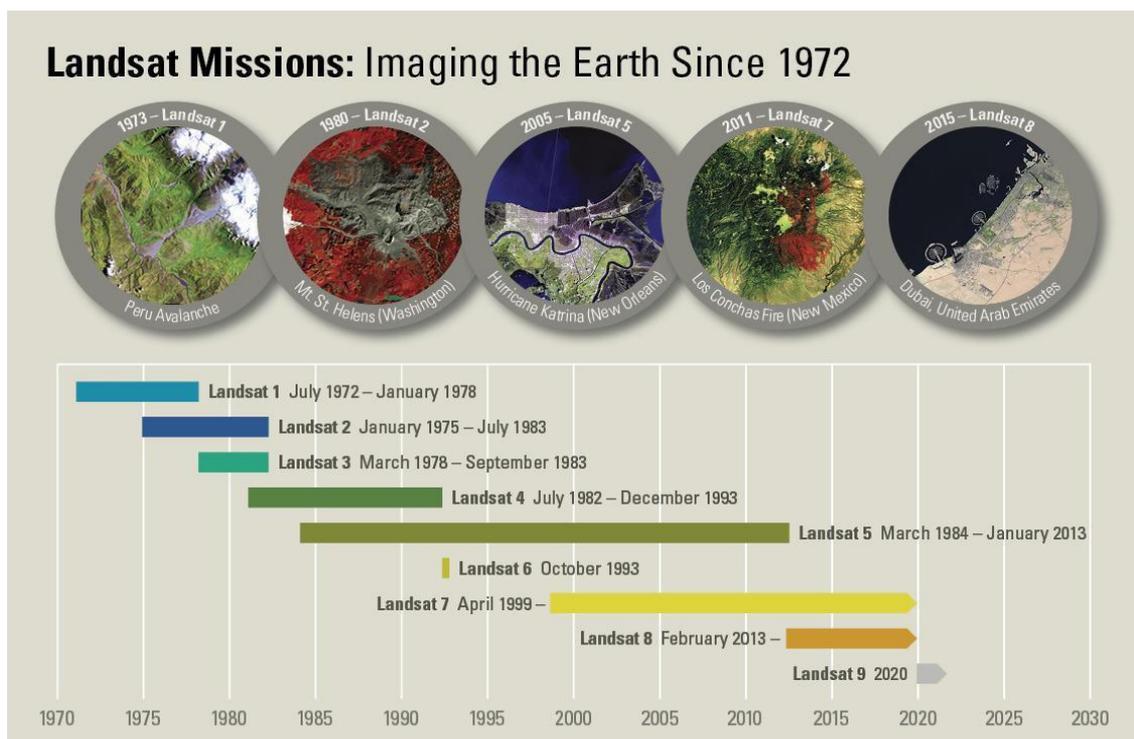
2.2.2.1 Sistemas Sensores e Orbitais

A utilização de satélites é um dos principais meios de observação terrestre sem contato direto com o alvo. O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) detém os direitos de distribuição de imagem de satélites como: SENTINEL e LANDSAT. Estas imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Em cima desses dados são produzidas inúmeras pesquisas nas mais diferentes áreas acadêmicas.

A missão espacial americana Landsat, satélite utilizado no presente trabalho, teve início em 1972 (Figura 3), após os esforços do Departamento do Interior, a NASA e o Departamento de Agricultura, para o lançamento de um satélite civil com intuito de beneficiar todo o mundo; A realização do projeto veio com o lançamento do ERTS-1, mais conhecido por Landsat 1.

O Landsat 5 foi lançado em 1984 e coletou dados globais de alta qualidade das superfícies terrestres da Terra por 28 anos e 10 meses; como seu substituto o Landsat 8 foi lançado em 2013 (Figura 3).

Figura 3 - Série da missão LANDSAT



Fonte: USGS, 2019¹

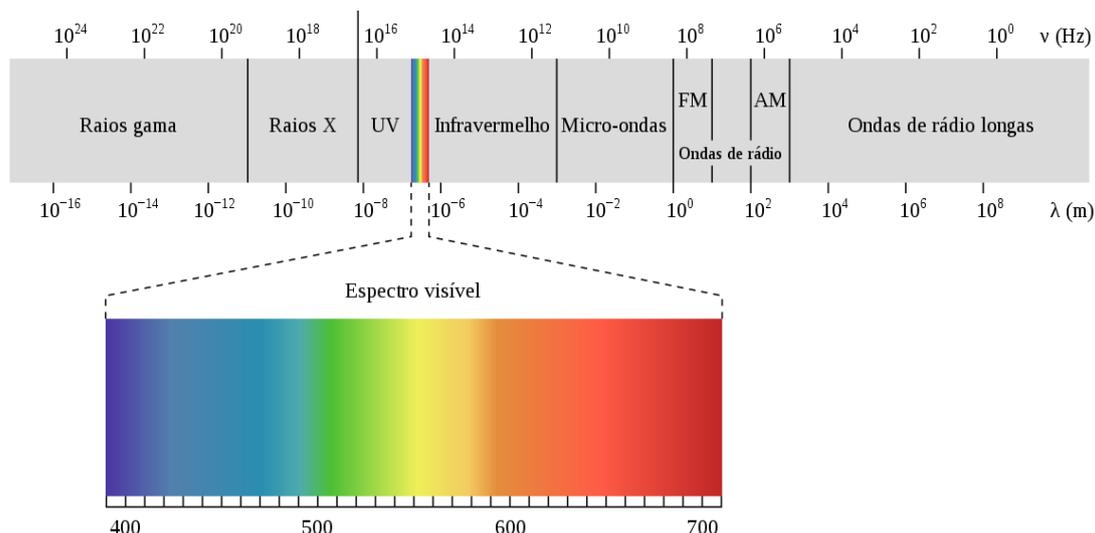
2.2.2.2 Comportamento Espectral

Os satélites da missão Landsat, usados neste trabalho, têm sensores que captam leituras espectrais que são refletidas de maneiras diferentes por objetos diferentes. Cada um desses objetos, por exemplo: vegetação, solos, rochas, água, asfalto, telhados, concreto, entre outros, tem uma assinatura que o satélite lê através da reflexão, absorção ou transmissão da radiação eletromagnética (NOVO, 2008).

Essa radiação é composta pela luz visível, uma pequena faixa que enxergamos as cores no azul, verde, vermelho e suas variações; pela faixa do infravermelho, ultravioleta e até ondas de rádio (Figura 4).

Figura 4 - Comprimento de Onda (Radiação Eletromagnética)

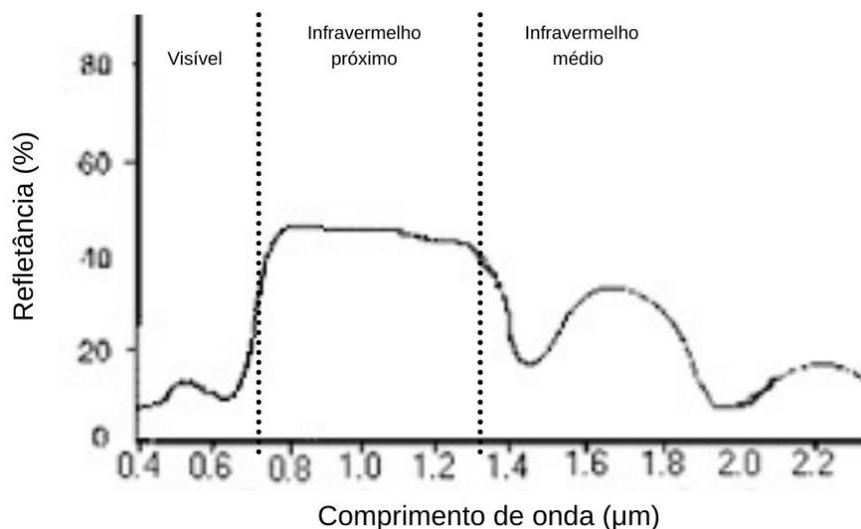
¹ Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: 05 Dez. 2019.



Fonte: Wikipédia, 2021.²

A vista do olho humano as árvores têm coloração verde, mas para o sensor instalado nos satélites as árvores têm diferentes picos em diferentes faixas de ondas como mostra a Figura 5, essa leitura é caracterizada como sua assinatura, assim, mesmo que um telhado seja pintado de verde não poderá ser classificado como uma área vegetal, já que suas assinaturas são divergentes.

Figura 5 - Assinatura espectral de vegetação



Fonte: Mundo Geomática. Adaptado pela autora.³

² Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_eletromagn%C3%A9tica>. Acesso em: 17 Dez. 2019

³ Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/sr/transparenciasapostilateoricasr/capitulo3.pdf>>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

A utilização dos satélites, seus sensores e leituras espectrais contribuem para construção de análises que são utilizados no campo do geoprocessamento, que é muito apreciado em estudos climáticos, no planejamento urbano, técnicas agrícolas entre outros.

2.2.3 Geoprocessamento

O geoprocessamento se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. (CÂMARA *et.al*, 2001). É ainda um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que geram uma informação útil, fazendo interpretações, relações e correlações temáticas, cruzando dados diferentes (interdisciplinares) e de temas diferentes (multidisciplinares) através do uso de tecnologias como o Sensoriamento Remoto (SR), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Por meio disto, é possível construir análises e correlações espaciais, que geram resultados e guiam decisões que influenciam diferentes áreas de pesquisa (CÂMARA *et.al*, 2001).

2.3 Gestão Urbana

Neste item serão apresentados os Planos Diretores e o Plano de Arborização da Cidade de Fortaleza considerando o recorte de tempo da análise de temperatura, conhecer estas políticas proporcionará uma visão analítica sobre a temperatura na discussão dos resultados.

2.3.1 Plano Diretor

O parágrafo primeiro do art. 182 da Constituição Federal⁴ de 1988 declara que "O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de *desenvolvimento* e de *extensão urbana*." (grifo nosso). Este documento deve conter diretrizes para todas e quaisquer necessidades da cidade e obrigações municipais. Sendo assim, buscaram-se os planos diretores de Fortaleza, que se encontram organizados e disponíveis à população pelo sítio⁵ do acervo virtual da Prefeitura de Fortaleza.

⁴ Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 07 Out. 2019.

⁵ Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br>>. Acesso em: 20 Mai. 2019.

Através da leitura dos planos diretores de 1979 a 2009 e documentos complementares, como cadernos de mapas, zoneamento, diagnósticos e minutas de lei foi possível encontrar um diagnóstico de 2004 com os principais planos diretores do século XX. Nele são retratados brevemente os planos de 1933 a 1992, sabendo que para construção do presente trabalho se faz necessário apenas, dos que estão dispostos no documento, os planos de 1979 e 1992.

2.3.1.1 Plano Diretor de Fortaleza 1979

O plano diretor de Fortaleza (PLANDIRF 1979), descrito na Lei 5.122-A/79, foi construído por meio do diagnóstico do PLANDIRF de 1972 que tinha como foco as áreas metropolitanas. O plano trouxe regulação para o parcelamento, uso e ocupação do solo, o município também foi dividido em zonas, sendo elas: residenciais, industriais, especiais de praia e especiais de preservação. O Plano também propusera a descentralização do centro da cidade com a criação de zonas de adensamento comercial e residencial nos bairros de Fátima, Aldeota e Jacarecanga.

Das zonas especiais de preservação, são listadas: Lagoa Opaia, Dunas da Barra, Alagadiço - São Gerardo, Lagoa do Porangabussu, Lagoa da Parangaba, Lagoa da Maraponga, Parque Dois Irmãos, Parque Rio Branco, Lagoa da Messejana, Parque do Cocó, Sapiranga, Rio Maranguapinho e Riacho Maceió. As zonas especiais de preservação entram no plano em função das preocupações da administração com a sua preservação como área remanescente verde, como área de interesse histórico ou paisagístico, e em 1980 o decreto de nº. 5592 de 9 de Junho regulamentaram como estas áreas deveriam ser utilizadas, sendo divididas em áreas nas quais só eram possíveis o aproveitamento cultural, esportivo ou paisagístico e áreas onde foi permitidos o parcelamento do solo e construções habitacionais seguindo um padrão específico (FORTALEZA, 2004).

2.3.1.2 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano 1992

Em 1992, treze anos depois, foi aprovado o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU-FOR 1992), através da Lei de nº 7061 de 16 de Janeiro de 1992. Neste plano foi induzida uma participação da população em sua formulação, através de entidades representativas, se comparado ao plano seguinte (2009) é uma maneira mais sucinta de realizar a participação.

Um diagnóstico definiu diversas áreas de conhecimento que abrangem o município, em especial a geologia, clima, área de vegetação e do uso e ocupação do solo. Essa análise prévia foi realizada com intuito de conceber melhores propostas dentro do plano.

O documento final propôs a Divisão do território em três Macrozonas, definidas como zona urbanizada, adensável e de transição; Definiu um zoneamento multifuncional que não regulamenta de maneira rígida o uso e ocupação do solo; Conferiu diretrizes para estrutura do sistema viário, o adensamento populacional, parcelamento do solo e uso e ocupação de Zonas especiais (áreas de interesse paisagístico, urbanístico ou ambiental), etc. (FORTALEZA, 2004).

2.3.1.3 Plano Diretor Participativo 2009

O Plano Diretor Participativo de Fortaleza, atualmente em vigor, que foi instituído no ano de 2009 tem fundamento teórico no direito à cidade no que diz respeito à moradia, infraestrutura, lazer entre outros. Dentre as diretrizes que norteiam a política urbana estabelecida no art. 2º da Lei Federal no 10.257, de 2001 - Estatuto da Cidade está citado no plano a: “preservação e conservação do meio ambiente, assegurando a proteção dos ecossistemas e recursos ambientais existentes e garantindo a todos os habitantes um meio ambiente ecologicamente equilibrado; (BRASIL, 2001)”. O plano tem como um de seus objetivos, redigidos no art. 4º, a regulação do uso e ocupação do solo tendo em vista a capacidade de suporte, infraestrutura de saneamento e sistema viário; além de preservar os ecossistemas e os recursos naturais (FORTALEZA, 2009).

2.3.2 Plano de Arborização de Fortaleza

O Plano de Arborização de Fortaleza (PAF) é um dos objetivos de planejamento e gestão da cidade que traz diversos serviços para à população, como: Árvore na minha calçada, Reciclando atitudes nas escolas, Troca de mudas por recicláveis, Distribuição de mudas na SEUMA, entre outras, e tem o intuito de atender as obrigações ambientais definidas pelo o Plano Diretor (Lei Complementar nº 062, de 02 de fevereiro de 2009), o Planejamento Plurianual (Lei Nº 10.645 de 23 de Novembro de 2017), o Estatuto da Cidade (Lei Nº 10.257, de 10 de Julho de 2001), à Constituição Federal de 1988 e as Recomendações para as Cidades da OMS (2016). Todos estes documentos, de certa forma serviram de base ou incentivo para formulação do PAF, além disso, existe a necessidade verdadeira da qualidade ambiental nas cidades.

O PAF foi lançado em maio de 2014 com o objetivo de incentivar os plantios e doações de árvores em Fortaleza. Segundo as informações divulgadas pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA), no período de um ano o programa plantou 17.307 árvores na cidade, seu objetivo é chegar em 2025 com 15m² por habitante

(ARAÚJO, 2015), atualmente à cidade conta apenas com 8m² por habitante, marca alcançada no ano de 2015 e que ainda no ano de 2020 se mantém (MESQUITA, 2019). Infelizmente, as informações divulgadas pela própria prefeitura demonstram crescimento das áreas verdes e aplicação do plano de forma momentânea.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo e Fluxograma

Neste tópico serão apresentadas as metodologias para obtenção da temperatura de superfície terrestre, dados estes, que serão discutidos através da perspectiva da Economia Ecológica, considerando os assuntos tratados no tópico anterior. A Figura 6 delimita a área de estudo na cidade de Fortaleza em seu mapa atual instituído pelo decreto municipal 14.498 de 2019.

Figura 6 – Mapa de localização da área de estudo

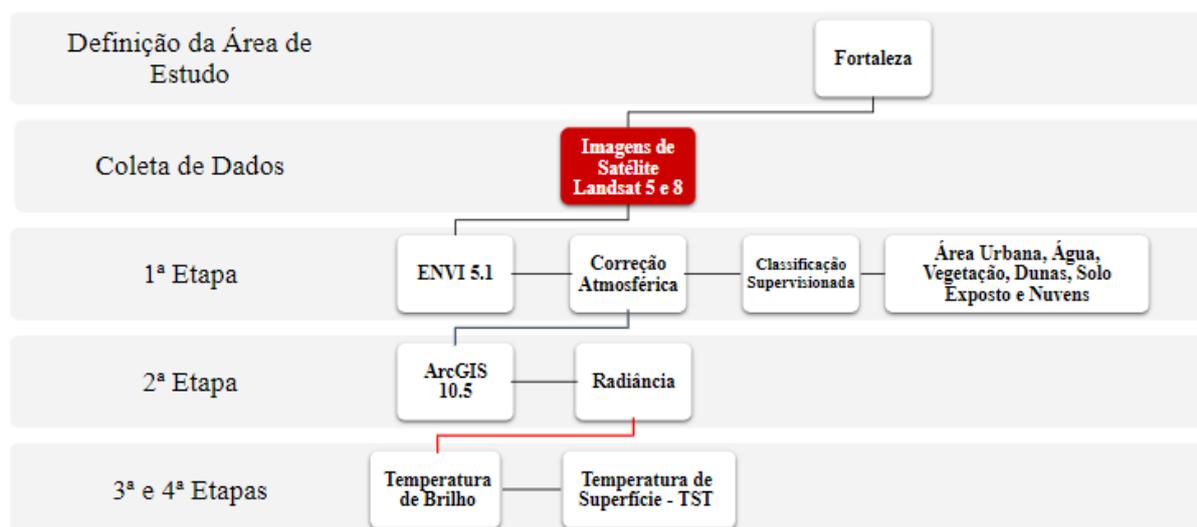


Fonte: IPLANFOR, 2019. Adaptado pela autora⁶

A Figura 7 contém um fluxograma do processo de estimativa da Temperatura de Superfície. Cada etapa constitui um trabalho com as imagens de satélite que serão explanadas ao decorrer dos materiais e métodos.

⁶ Disponível em: <<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/#/>> Acesso em: 22 Jan. 2020.

Figura 7 - Fluxograma de trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Coleta de dados

Por meio do site Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos⁷, obtivemos, sendo a primeira etapa, as imagens do município de Fortaleza dos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2015 e 2019, - note que existe um salto de cinco anos de uma data a outra, entretanto, o ano de 2010 carecia de imagens com poucas nuvens e por sua vez foi descartado - preferencialmente do período seco, que no estado do Ceará é o segundo semestre do ano, e majoritariamente sem nuvens para melhor obtenção de informações, contudo este não foi um critério preciso em todas as imagens, caso do ano de 1990, já que há uma inconstância com relação às nuvens. No Quadro 1 temos as delimitações das datas e os satélites que foram utilizados na coleta, podemos notar a proximidade dos meses, com exceção de 1990.

Quadro 1 - Datas das imagens e seus respectivos satélites

06/10/1990	17/08/1995	14/08/2000	27/07/2005	08/08/2015	18/07/2019
Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 8

Fonte: Elaborado pela autora.

⁷ Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 Out. 2019

3.3 Classificação

Na segunda etapa, as imagens passaram pelo processo de correção atmosférica para a realização da apuração da temperatura, é um passo importante, pois os dados podem sofrer interferência em detrimento da atmosfera, da poeira e de outros componentes que deslocam ou barram a captação da energia refletida pela terra. Esta etapa foi realizada com uso do software ENVI 5.1 e das ferramentas “Radiometric Calibration”, com o propósito de calibrar as imagens, e “FLAASH Atmospheric Correction” para correção atmosférica com parâmetros específicos.

O resultado obtido desses passos, foi utilizado para classificação da área de estudo pelo método de classificação supervisionada, através da máxima verossimilhança, é um algoritmo de classificação tipo estatístico, que associa cada padrão a uma probabilidade de pertencer à determinada classe predefinida em treinamento pelo analista. (DUTRA, 1981). No software ENVI, foi utilizado a ferramenta “Support Vector Machine Classification” para essa tarefa. As imagens foram classificadas em seis macro classes, sendo elas: Área Urbana, Água, Vegetação, Dunas, Solo Exposto e Nuvens. Essas classes foram definidas em detrimento das necessidades da pesquisa e da observação do alvo pesquisado.

3.4 Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Na etapa seguinte, foi aplicada a equação de radiância (USGS, 2020; SILVA, 2011; CORREA, 2019; BARBOZA *et. al*, 2020) utilizando a calculadora raster do software ArcGIS 10.5. Através desta equação podemos transformar o número digital (DN) de cada pixel das bandas 6 no Landsat 5 e nas bandas 10 e 11 do Landsat 8 para a radiância, que é a energia eletromagnética emitida por uma área:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} : Radiância espectral TOA (Watts / (m² * srad * μ m))

M_L : Fator de reescalonamento multiplicativo específico da banda

A_L : Fator de reescalonamento aditivo específico da banda

Q_{cal} : Valores padrão de pixel (DN) quantificados e calibrados do produto

Os valores obtidos na equação 1 que são a radiância foram utilizados no próximo passo, que se dá pela obtenção da temperatura de brilho (CORREA, 2019), utilizando-se da equação 2. K1 e K2 são constantes que podem ser encontradas nos metadados das imagens. Para o Landsat 5 usou-se os valores referentes à Banda 6, já no Landsat 8 usou-se os valores das Bandas 10 e 11, que são estas as bandas termais nos respectivos satélites.

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

Tb: Temperatura de brilho da atmosfera superior (K)

L λ : Radiância espectral TOA (Watts / (m² * srad * μ m))

K1: Constante de conversão térmica específica 1 da banda

K2: Constante de conversão térmica específica 2 da banda

Na quarta etapa, para calcularmos a emissividade, variável que será necessária na equação 6, foi calculado primeiro o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) através da equação 4, a reflectância utilizada nesta equação foi calculada pela equação 3:

$$R = \text{Add} + \text{Mult} * \text{DN} \quad (3)$$

Onde:

R: Reflectância espectral (Watts)

Add: Fator de reescalonamento multiplicativo específico da banda

Mult: Fator de reescalonamento aditivo específico da banda

DN: Numero Digital de cada pixel

$$\text{NDVI} = \frac{\text{INR} - \text{RED}}{\text{INR} + \text{RED}} \quad (4)$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

INR: Fatores de reflectância da banda de Infravermelho próximo

RED: Fatores de reflectância da banda do vermelho

No Landsat 5, para o NDVI se usa as Bandas 4 e 3, no Landsat 8 são as Bandas 5 e 4, respectivamente infravermelho e vermelho.

Em seguida o resultado do NDVI foi utilizado no cálculo da Proporção de Vegetação, sendo calculada pela equação 5:

$$Pv = \left(\frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \right)^2 \quad (5)$$

Onde:

Pv: Proporção de Vegetação

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NDVImax: Índice de Vegetação máximo no valor de 1

NDVImim: Índice de Vegetação mínimo no valor de -1

Por fim, para o cálculo da emissividade da superfície utilizou-se a equação 5 sugerida por Allen *et al.* (2002) *apud* Silva *et al.* (2011) e Barboza (2020):

$$\varepsilon = N + Pv \cdot C \quad (5)$$

Onde:

E: Emissividade de um corpo negro

N: Constante sugerida no valor de 0.004

Pv: Proporção de Vegetação

C: Constante sugerida no valor de 0.986.

Após a apuração da temperatura de brilho (T_b) e da emissividade de superfície (ε), essas foram utilizadas para obtenção da TST, seguindo a equação 6 (BARBOZA, 2020) demonstrada abaixo:

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\lambda \cdot \frac{T_b}{\rho} \right) \ln(\varepsilon)} \quad (6)$$

Onde:

T_s = Temperatura de Superfície Terrestre ($^{\circ}\text{C}$)

T_b = Temperatura de Brilho (K)

λ = Comprimento de onda de Radiância (μm)

ρ = Constante no valor de $1.438.10^{-2}$

ε = Emissividade da superfície

Na quinta e última etapa, os dados de temperatura foram dispostos em uma planilha no Excel para construção de gráficos no qual revelassem melhor os resultados do período trabalhado, principalmente as máximas de temperatura de cada ano. A classificação da imagem em seu uso e ocupação de solo também foi incorporada em uma planilha no Excel, em que foram produzidos gráficos de área a fim de coletar resultados mais interessantes do todo observado.

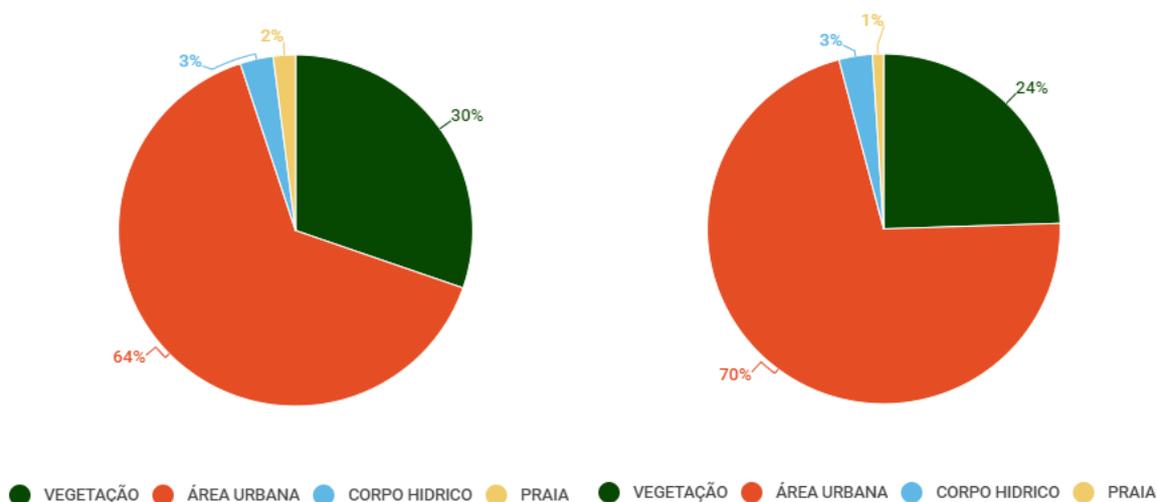
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Uso e Ocupação do solo

Neste item apresentaremos os resultados obtidos da temperatura e discutiremos os mesmos sobre uma perspectiva abrangente que a Economia Ecológica nos disponibiliza, a saber, urbanização, adensamento populacional, modificações no território, políticas públicas e planos para a cidade, abrangendo as áreas ambientais, sociais e econômicas/políticas.

Os resultados derivados do processo de calibração e classificação (1ª Etapa) resultaram na área de Vegetação, Área Urbana, Corpo Hídrico e Praia em Km² da cidade de Fortaleza através da leitura de cada pixel. O Gráfico 1 mostra o uso e ocupação do solo no ano de 1995 e em 2019, no qual podemos observar as mudanças que ocorreram durante esse período. É importante ressaltar que de acordo com o cálculo de área realizado, a cidade de Fortaleza tem 312,4 Km², os dados oficiais ditam 313,8 Km², sendo à margem de erro de 1,4 Km², isso ocorre devido ao uso de projeções diferentes de localização. Neste trabalho a área foi calculada com o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) que é disposta em forma cilíndrica.

Gráfico 1 – Uso e Ocupação do solo (1995/2019)



Fonte: Elaborado pela autora.

No ano de 1995 existiam 30% de vegetação na cidade, grande parte localizada no Parque do Cocó na área periférica da cidade; Em sua minoria, pode se localizar nas margens do rio Maranguapinho e algumas praças, infelizmente, por causa do tamanho do pixel da imagem de satélite, 30m², árvores em vias públicas não estão inseridas nesta contagem, muito

embora elas existam e alguns pixels de eutrofização, como no Rio Cocó e o Açude Santo Anastácio no Campus do Pici, que tanto à mesma leitura espectral da vegetação de mata ou árvores não faz distinção. Mediante a classificação encontramos 64% do território de área urbana, sendo contabilizada, áreas de construção civil, sejam casas, edifícios ou asfaltos, além de terrenos sem cobertura vegetal com solo exposto.

No ano de 2019 notamos um crescimento na área urbana de 6%, totalizando 70% de área urbanizada, é interessante notar que 6% de vegetação foram perdida nestes 24 anos, apesar de que este número diminuiu mais significativamente no ano de 2005 chegando à marca de 22%, o aumento de 22 para 24% pode ter sofrido influência da execução do PAF em 2014, que alcançou resultados positivos nos anos seguintes a instituição do Plano (ALBUQUERQUE, ZANELLA E DANTAS, 2018).

Outra observação importante é a área de praia que passou de 2% para 1% da área total e pode significar o avanço das construções na orla sobre a faixa de área, ou pode significar construções sobre dunas ou ainda uma natural ressaca do mar específica deste dia. Contudo, é interessante notar que a porcentagem de influência do homem é maior que as possíveis causas de interferência da natureza e que por sua vez não são permanentes.

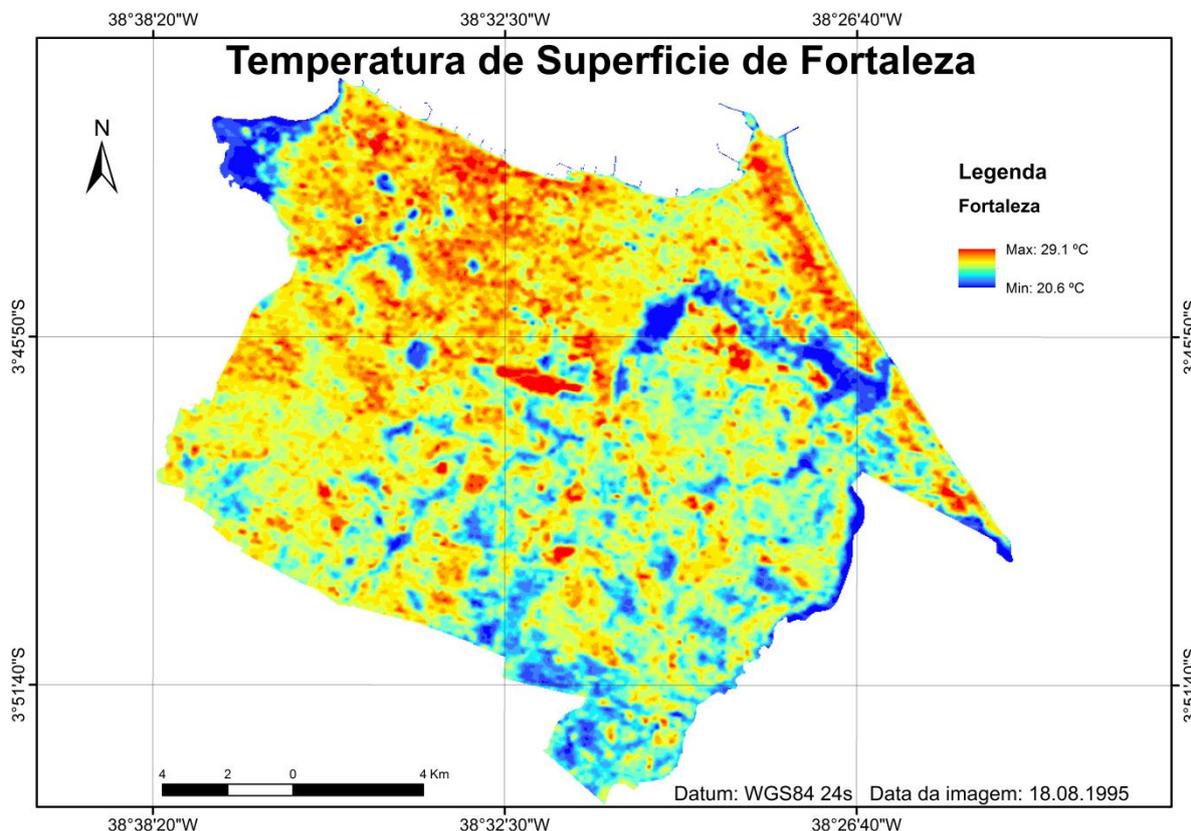
4.2 Temperatura de Superfície de Fortaleza

Os resultados através do método utilizado neste trabalho geraram bons gráficos e mapas como demonstrado na Figura 8. As temperaturas mais baixas do mapa estão localizadas nos corpos hídricos como o Rio Cocó, área a noroeste no mapa, a Lagoa da Parangaba e o Açude Santo Anastácio a nordeste no mapa e o Rio Maranguapinho - este mais visível na Figura 8 - a sudeste no mapa, que são, assim como as árvores, estabilizadoras de temperatura (BARBOZA, 2020).

No dia 18.08.1995, podemos observar temperaturas máximas de 29.1°C e mínimas de 20.6°C. No mapa conseguimos definir alguns pontos na cidade como o aeroporto que se encontra no meio do mapa com altas temperaturas. Essa característica se dá por causa das pistas de pouso, decolagem e embarque que são feitas de asfalto ou concreto e o telhado da área coberta em alumínio, materiais estes que possuem alto acúmulo e baixa dissipação de calor. Além disso, podemos notar picos de temperatura ao norte e noroeste, onde se encontravam concentradas áreas de adensamento comercial e populacional, como o Porto do Mucuripe entre o litoral leste e oeste, e baixa arborização, fatores que contribuem para gerar as ilhas de calor (GARTLAND, 2010). É possível notam também uma faixa de elevadas

temperaturas no litoral oeste mais a noroeste que são áreas de Dunas que por outro lado influenciam no equilíbrio térmico da cidade.

Figura 8 – Mapa de temperatura de superfície terrestre de Fortaleza (1995)



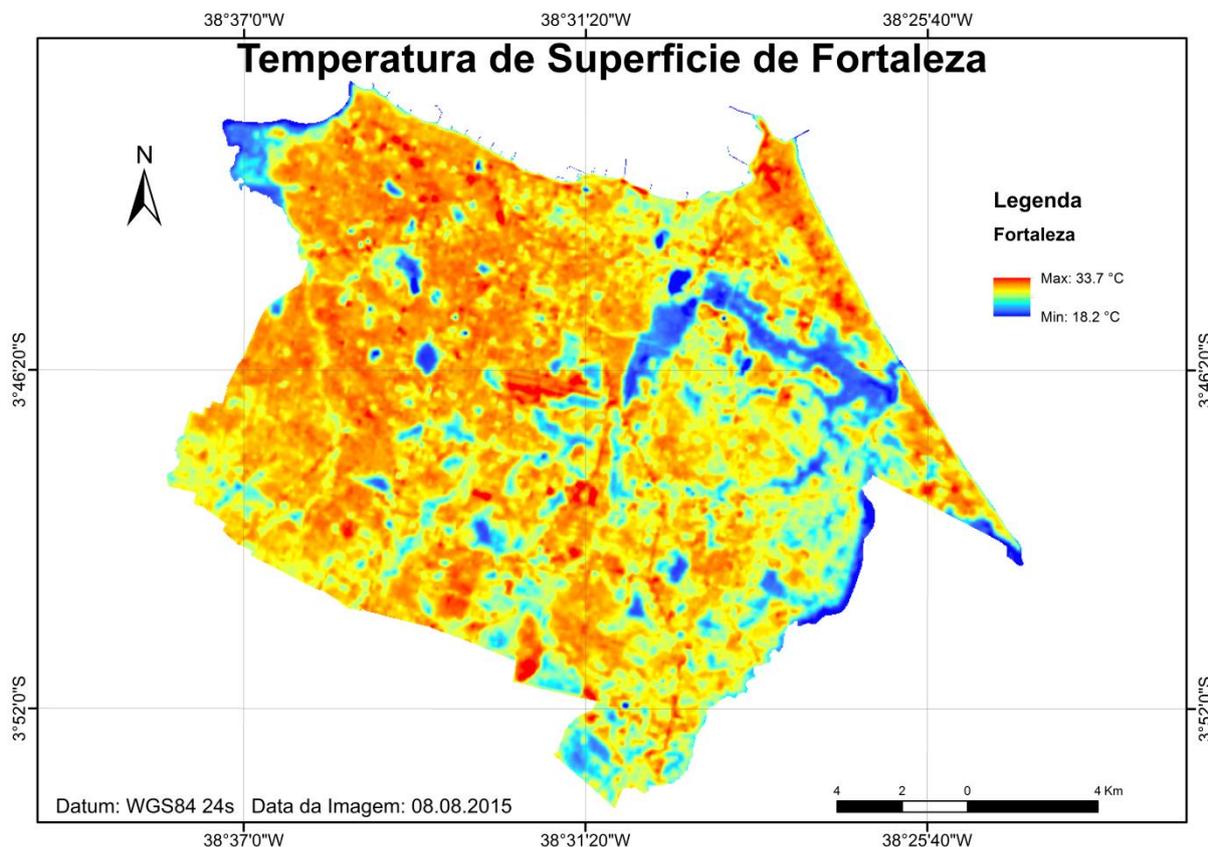
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 9 nos mostra a temperatura referente ao ano de 2015, com data de 08.08.2015. Nela podemos observar de forma significativa a mudança na espacialização dos pontos mais quentes na cidade, com um crescimento no aquecimento do lado oeste e sudoeste, e o aumento na temperatura de 4.6°C em comparação a máxima no mesmo período em 1995. Essa diferença é certamente alarmante se observado do ponto de vista climatológico, por isso é importante evidenciar que no período de 2014 a 2016 ocorreu um grande fenômeno climático chamado El Niño. É um fenômeno oceânico no qual ocorre o aquecimento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico próximas à costa do Peru (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O evento que durou cerca de 2 anos teve seu pico em 2015, mesmo ano em que foram coletados os dados utilizados na Figura 9. O El Niño está ligado a mudanças muito significativas por todo o mundo, como morte de animais e ciclones; Na região Nordeste do

Brasil ele afeta a precipitação, ocasionando um período severo de estiagem e deixando o tempo mais seco, isso por sua vez resulta na elevação das temperaturas (COSTA, 2012), como podemos observar no ano de 2015.

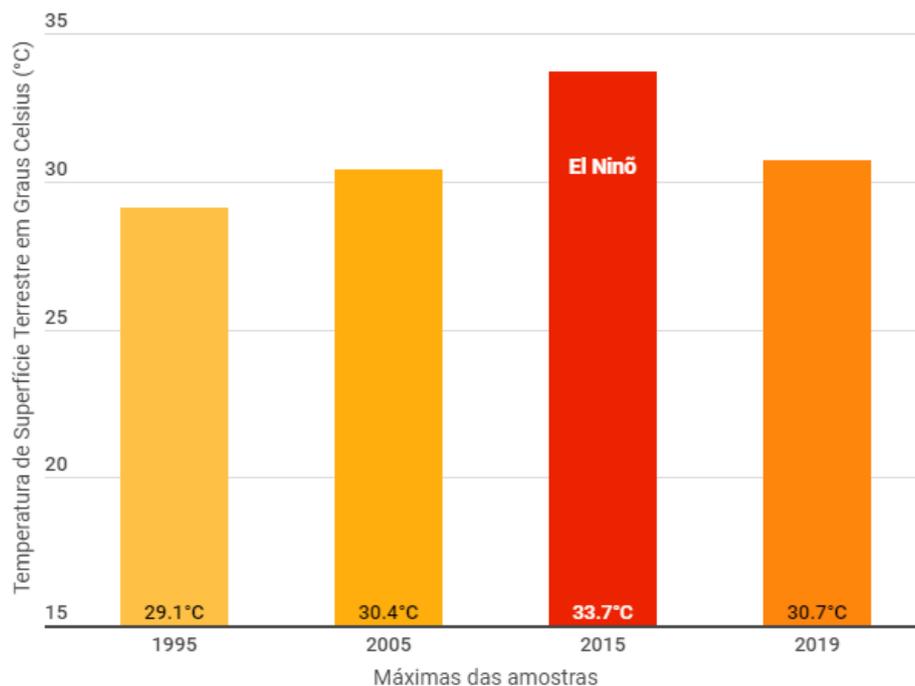
Figura 9 – Mapa de temperatura de superfície terrestre de Fortaleza (2015)



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 2 podemos notar um crescimento em média de 0,4°C na temperatura máxima a cada 10 anos de 1995 para 2005 e por fim em 2019. Podemos correlacionar o Gráfico 1 com o Gráfico 2 percebendo como o processo de urbanização da cidade influenciou no aumento da temperatura observada na pesquisa. Esse resultado corrobora com Barboza (2020) e Silva (2011) que afirmam uma nítida tendência de aumento na temperatura desde 1988 e que isso pode ser explicado pela modificação na cobertura da superfície.

Gráfico 2 - Temperaturas de Fortaleza (1995-2015)



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Plano Diretor e Plano de Arborização

Para entendermos melhor sobre essa mudança de superfície, buscaram-se correlacionar os Planos Diretores da cidade de Fortaleza, anteriores às imagens coletadas (Quadro 2), com os dados de temperatura encontrados.

Quadro 2 - Datas das imagens e seus Planos Diretores

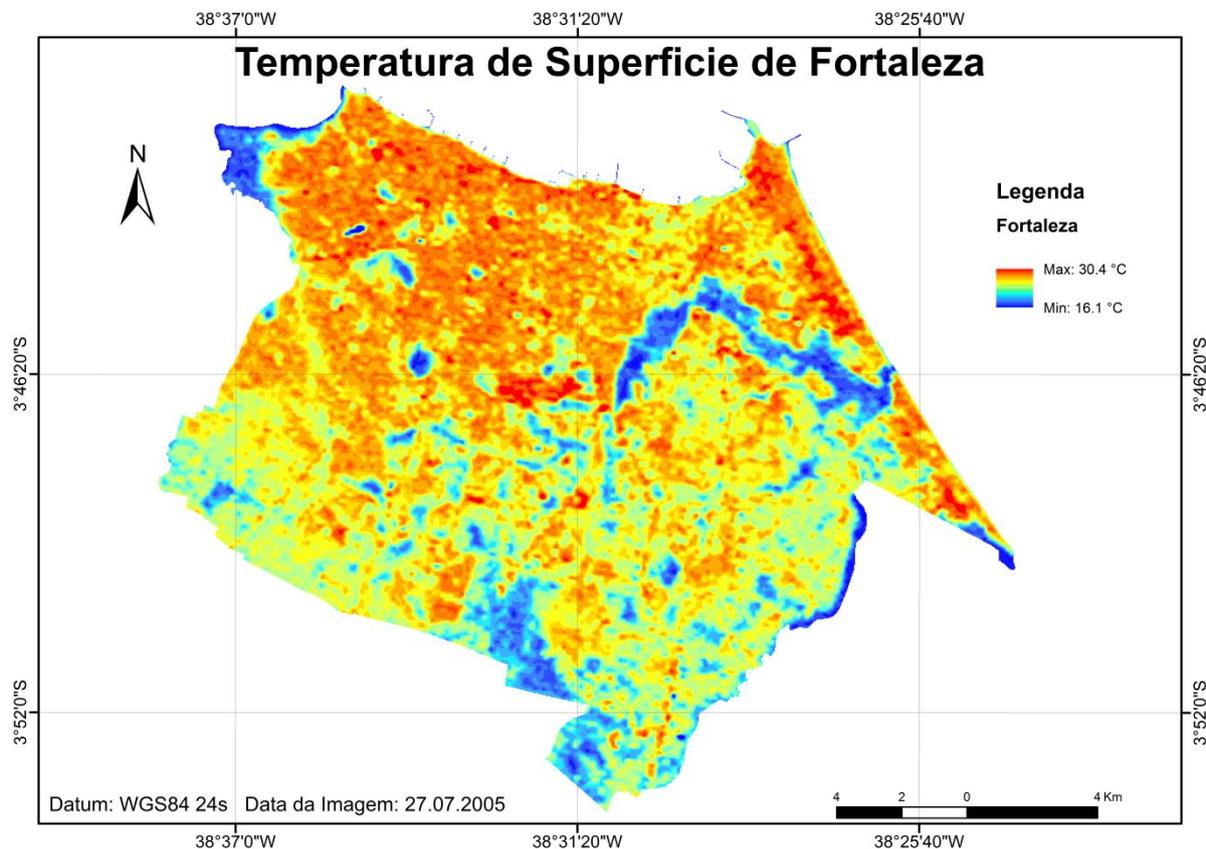
06/10/1990	17/08/1995	14/08/2000	27/07/2005	08/08/2015	18/07/2019
1979	1992	1992	1992	2009	2009

Fonte: Elaborado pela autora.

No ano de 1979 o PLANDIRF propôs a descentralização da região do Centro para os bairros Fátima, Aldeota e Jacarecanga com a criação de zonas comerciais e residenciais. No mapa de 1995 podemos notar que os pontos de coloração mais vermelha e com temperaturas mais elevadas se concentravam nas áreas do Centro, Jacarecanga, Fátima, Parquelândia, Aeroporto, Alto da Balança e José Bonifácio. Em seguida, com as políticas e incentivos guiados pelo plano PDDU-FOR de 1992 que dividiu a cidade em Macrozonas a fim de direcionar desenvolvimento e estender a malha urbana (BRASIL, 1988). Como resultado

podemos ver a malha de altas temperaturas em outros bairros como Parangaba, Jardim Iracema, Barra do Ceará, Aldeota, Papicu, entre outros (Figura 10).

Figura 10 – Mapa de temperatura de superfície terrestre de Fortaleza (2005)



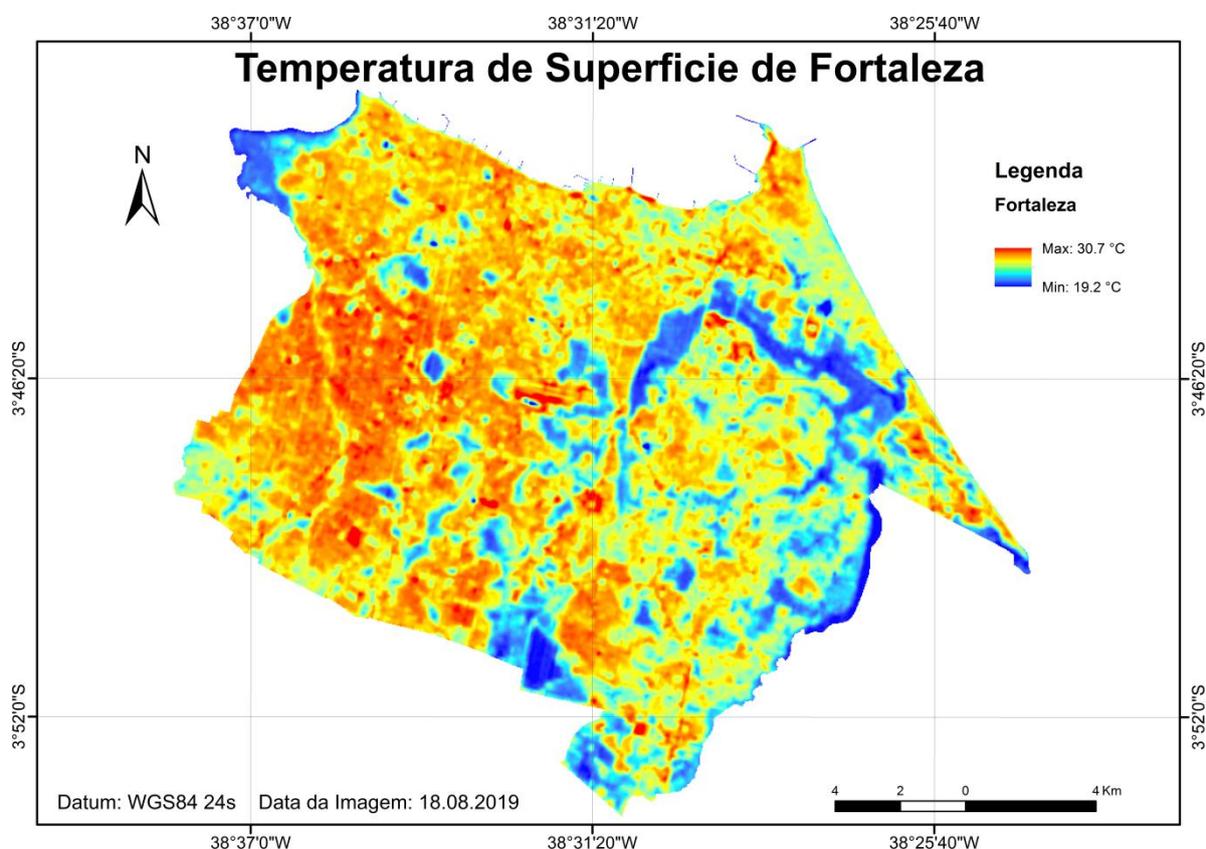
Fonte: Elaborado pela autora.

No ano de 2009, um novo plano diretor foi instituído, o Plano Diretor participativo foi idealizado com a participação da sociedade em geral, um trabalho de grande porte que tem como diretriz e objetivo à preservação e conservação do meio ambiente, além de regulação do uso e ocupação do solo. Na Figura 11, no ano de 2019, podemos notar facilmente um corte em amarelo no lado sudoeste da cidade, esse traço é o rio Maranguapinho, muito bem distinto de suas áreas vizinhas como ponto de temperaturas mais baixas, observe que os bairros Bom Jardim, Vila Peri, Granja Portugal e Antônio Bezerra ao sudoeste, oeste e noroeste são bem mais representativos – que no ano de 2005, bairros estes com grande densidade populacional, consequentemente com bastante área urbanizada e com um déficit de áreas arborizadas ou áreas naturais.

Entretanto, no período de observação deste trabalho é possível notar um crescimento de temperatura de 0,5°C de 1995 a 2005, mas do ano de 2005 á 2019 o aumento foi de 0,3°C,

isso pode ser explicado pela interferência do Plano de Arborização (PAF) que foi instituído no ano de 2014 que proporcionou relativo crescimento no plantio de árvores desde então e já atingiu sua meta inicial (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018) de 8m² por habitante, certamente muito ainda precisa ser feito.

Figura 11 – Mapa de temperatura de superfície terrestre de Fortaleza (2019)



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 O ponto de vista da Economia Ecológica

Através da perspectiva da Economia Ecológica (que está centrada nas relações entre a economia, sociedade e natureza) foi possível observar a temperatura de superfície da cidade de Fortaleza, objeto de estudo, percebendo-a através de fatores climáticos (natureza), dos fatores humanos e seus impactos (sociedade), e como a cidade é abordada pelas políticas públicas (economia), através dos planos definidos para a cidade de Fortaleza. Apesar de muito ter sido pensado e proposto durante os últimos três Planos, como o zoneamento, preservação, saneamento, regulação do uso do solo, pouco tem sido feito efetivamente,

mesmo que tantas outras reflexões tenham fomentado a importância de tratar sobre estes assuntos com maior importância (OSAKO, 2016; LOBODA, 2005), a cidade é abordada sobre uma perspectiva econômica de crescimento, expansão territorial e apoio ao comércio.

Os aumentos da temperatura observados nos resultados demonstram como a interferência humana está presente de maneira a modificar o ambiente natural. Foi possível perceber o desenvolvimento e ou crescimento presentes em muitos dos documentos apresentados, estes que foram explorados ao decorrer dos anos, consumindo e transformando o espaço urbano, o que acarretou uma perda significativa de área verde, do conforto térmico, mudando a vida urbana. Outra questão, que foi observada por Loboda (2005) são as discontinuidades das políticas públicas, que quando existentes, são aplicadas dentro de uma gestão específica e que passa a ser sucateada dependendo dos objetivos da nova administração. A construção de políticas com interferências ambientais, como o PAF, precisa ser efetuada em longo prazo e compromisso, observando as necessidades da sociedade e do meio ambiente.

As ações que permeiam à cidade de Fortaleza tornaram-na uma das cinco grandes capitais do país, marco importante do ponto de vista econômico e político, mas que ocasiona problemas do ponto de vista térmico e que abrange muitos outros fatores ligados a ele, é à lei natural de causa e efeito, das ações econômicas deixando "resíduos" através da expansão da malha urbana.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia ecológica é uma área de estudo que permite uma abordagem econômica, social e ecológica sobre um mesmo tema, que permite a possibilidade de navegar nestas áreas para compreensão de um problema. Como foi descrito neste trabalho, a Economia Ecológica se utilizou de conceitos de ecologia, temperatura e políticas públicas, para demonstrar os mais diversos fatores que interferem na mudança de temperatura no ambiente da cidade de Fortaleza como ecossistema.

Ao entender mais sobre as diferentes maneiras como podemos enxergar o espaço urbano observamos as influências antrópicas, como o adensamento populacional, as ações administrativas das políticas, os conceitos econômicos, como o crescimento urbano e apoio comercial que modificam o ambiente. É possível perceber a importância da análise conjunta da pesquisa interdisciplinar que é proporcionada em um estudo Econômico Ecológico.

As mudanças na temperatura das cidades são pesquisadas e aplicadas nas ciências, na área da saúde, no planejamento ambiental, na geografia física, na meteorologia, entre outras, cada uma destas com suas próprias técnicas e conceitos. A Economia Ecológica é uma ciência nova, pouco estudada no Brasil e que ainda está construindo-se como ciência e este trabalho cumpre seu objetivo ao compreender a perspectiva desta área e aplica-la, ao alimentar o acervo sobre este assunto, a instigar novos pesquisadores em outros estudos e a disponibilizar para a sociedade um conhecimento de fácil acesso.

Então, concluímos com a caracterização de Cavalcanti (2004, p. 154) sobre a ciência da Economia Ecológica: “(...) esse campo de trabalho deve ser visto como uma empreitada (ou cometimento) entre cientistas naturais e sociais, junto com os atores envolvidos em ações concretas de promoção do desenvolvimento, para chegar-se a novo entendimento da realidade humana, tirando dele lições para fins de análise e política.”.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. M. G.; ZANELLA, M. E.; DANTAS, E. W. C. Política Pública, arborização e sustentabilidade: O caso do município de Fortaleza. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 12, n. 03, p. 69-77, ago. 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/eneeamb-2018/trabalhos/areas-verdes-em-fortaleza--um-problema-real>>. Acesso em: 14 out. 2020.
- ALBUQUERQUE, R. J. S.; DA SILVA, R. W. B. F.; DE SOUSA, D. M. L.; DA SILVA, J. V. A. **Áreas verdes em Fortaleza: um problema real**. In: XVI ENEEAMB & LV FLAES, 2018, Palmas. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/eneeamb-2018/trabalhos/areas-verdes-em-fortaleza--um-problema-real>>. Acesso em: 14 out. 2020.
- AMAZONAS, M. “**O que é Economia Ecológica.**” Sociedade Brasileira de economia Ecológica. [2000?]. Disponível em: <<http://ecoeco.org.br/economia-ecologica/>>. Acesso em: 05 jan. 2019.
- ARAÚJO, K. **Plano de Arborização completa um ano com 17.307 árvores**. O Estado, 2015. Disponível em: <<https://www.oestadoce.com.br/cadernos/oev/plano-de-arborizacao-completa-um-ano-com-17-307-arvores/>>. Acesso em: 07 out. 2020.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. [xv], 332 p.
- BARBOZA, E. N.; NETO, F. das C. B.; CAIANA, C. R. A. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. **Society and Development**, v.9, n. 7, p. 1-21, abril. 2020.
- Brasil, **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 29 set. 2019.
- Brasil, Estatuto da Cidade, **Lei nº 10.257**, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. p. 1-5. 345 p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- CAPRA, F. **A teia da vida**. 1. ed. São Paulo: Cultrix, 1996. p. 14-21.

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente e Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 149-156, jan./jul. 2004.

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. D. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen: **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 438-454, out./2010.

CORREA, M. de J. **Impacto da Urbanização nas temperaturas do ar de superfície da região metropolitana de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, p. 67-69. 2019.

COSTA, A. **Antropoceno: Um ataque ao delicado ajuste do sistema Terra**. Boletim da ECOECO, São Paulo, v. 1, n. 38, p. 15-20, jan. 2019.

COSTA, J. A. O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil. **Revista Científica do IFAL**, v. 1, n. 4, p. 71-82, jan./jul. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ifal.edu.br/educte/article/view/13>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

DUTRA, L. V.; SOUZA, R. C. M.; MITSUO II, F. A.; MOREIRA, J. C. **Análise automática de imagens multiespectrais**. São José dos Campos: INPE, 1981. 40 p. IBI: <6qtX3pFwXQZ3r59YD6/GNDgT>. (INPE-2212-MD/009).

Fortaleza, Território de Fortaleza. **Decreto nº 14.498**, 2019. Disponível em: <<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/#/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

Fortaleza, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, **Lei nº 7.061**, 1992. Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/pesquisa?nome=Plano&autor=&categoria=PLANOS+DIRETORES&tema=PLANEJAMENTO+URBANO&ano=1992&tipodocumento=&fonte=&local=FORTALEZA>>. Acesso em: 20. Mai. 2019.

Fortaleza, Plano Diretor Físico, **Lei nº 5.122-A**, 1979. Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/pesquisa?nome=Plano&autor=&categoria=PLANOS+DIRETORES&tema=PLANEJAMENTO+URBANO&ano=1979&tipodocumento=&fonte=&local=FORTALEZA>>. Acesso em: 20. Mai. 2019.

Fortaleza, Plano Diretor Participativo, **Lei complementar nº 062**, 2009. Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/pesquisa?nome=Plano&autor=&categoria=PLANOS+DIRETORES&tema=PLANEJAMENTO+URBANO&ano=2009&tipodocumento=&fonte=&local=FORTALEZA>>. Acesso em: 20. Mai. 2019.

Fortaleza, **Plano de Arborização de Fortaleza**, 2014. Disponível em <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/apresentacao_plano_de_arborizacao.pdf> Acesso em: 21 mar. 2020.

Fortaleza, Plano Plurianual de Fortaleza 2018 - 2021, **Lei ordinária nº10.645, 2017**. Disponível em <<https://transparencia.fortaleza.ce.gov.br/index.php/planejamento/ppa>> Acesso em: 21 mar. 2020.

Fortaleza, **Síntese Diagnóstica da Cidade de Fortaleza**, 2004. Disponível em: <<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/pesquisa?nome=&autor=&categoria=PLANOS+DIRETORRES&tema=&ano=2004&tipodocumento=&fonte=PREFEITURA+MUNICIPAL+DE+FORTALEZA&local=FORTALEZA>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010. cap. 1, 2 e 7.

GEO APLICADA. **O que é o Sensoriamento Remoto? Conceitos e características**. Disponível em: <<https://www.geoaplicada.com/blog/sensoriamento-remoto/>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Ed. SENAC São Paulo, 2012. 258 p.

LIPOVETSKY, G. **A felicidade paradoxal**: ensaio sobre a sociedade de hiperconsumo. São Paulo, SP: Companhia das Letras, 2007. 402 p.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v.1 n.1, p. 125-139, jan./jun. 2005. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/157>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. 1ª ed. São Paulo: Oficinas de textos, 2007. p. 189-194.

MENEZES, F. Z. **Uma árvore por habitante, a recomendação mínima da OMS para as cidades**. Gazeta do Povo, 2016. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/futuro-das-cidades/uma-arvore-por-habitante-a-recomendacao-minima-da-oms-para-as-cidades-622ch9afm4rimh3ol1w9j8ikn>>. Acesso em: 29 set. 2020.

MESQUITA, Felipe. **Fortaleza não avança na expansão da cobertura vegetal**. **Diário do Nordeste**, 2019. Disponível em:

<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/fortaleza-nao-avanca-na-expansao-da-cobertura-vegetal-1.2076304>>. Acesso em: 5 ago. 2020.

NAHUR, A. C.; GUIDO, F. L.; SANTOS, J. A. G. dos. As Mudanças Climáticas RISCOS E OPORTUNIDADES. **Água Brasil**, São Paulo, v. 2015, n. 1, p. 6-34, nov./2015. Disponível em: <<https://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/uds/dwn/mudclimatica.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

NOVO, E. M. L de M.. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2008. 304 p.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Recomendações para as cidades**, 2016.

OSAKO, L. K.; TAKENAKA, E. M. M.; SILVA, P. A. da. Arborização urbana e a importância do planejamento ambiental através de políticas públicas. **Revista ANAP Brasil**, v. 9, n. 14, 2016. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1318>. Acesso em: 22 abr. 2020.

REVISTA PLANETA. **Bem-vindo ao Antropoceno**. Disponível em: <<https://www.revistaplaneta.com.br/bem-vindo-ao-antropoceno/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

SILVA, M. T. **Impactos da urbanização na temperatura e no balanço de radiação à superfície no município de Fortaleza-CE com base em imagens espectrais do TM / Landsat 5**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto. Anais eletrônicos. Curitiba, Paraná, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.19.20/doc/p0151.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SOUZA, R. B. de. **Sensoriamento Remoto: conceitos fundamentais e plataformas**. In: IV CEOS WGEdu Workshop. Anais eletrônicos. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <http://www3.inpe.br/crs/crectalc/pdf/ronald_ceos.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em: 19.jan.2020.

ZANIRATO, S. H.; ROTONDARO, T. Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 88, p. 77-92, dez./2016.