



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL,
COMPLEXO DO PECÉM (CE), ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO
AR.**

LUANA CARVALHO DE SENA RABELO

**FORTALEZA
2017**

LUANA CARVALHO DE SENA RABELO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL,
COMPLEXO DO PECÉM (CE), ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO
AR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof.^a Ma. Camille Arraes Rocha

Co-orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante

**FORTALEZA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R114a Rabelo, Luana.
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL, COMPLEXO DO PECÉM
(CE), ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR. / Luana Rabelo. – 2017.
62 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Me. Camille Arraes Rocha.
Coorientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.
1. Poluição Atmosférica. 2. Região Litorânea. 3. Saúde Pública. 4. Industrialização. I. Título.
CDD 333.7
-

LUANA CARVALHO DE SENA RABELO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL,
COMPLEXO DO PECÉM (CE), ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO
AR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 11/12/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Camille Arraes Rocha (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Adilson Wagner Gandu
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Lorena Cavalcante Lima De Freitas
Secretaria de Educação do Ceará

À minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

À toda minha (grande) família, por toda a dedicação, amor e cuidado que tiveram comigo desde que iniciei minha vida de estudante. Meus pais, avós, irmãos, tios, primos, e todos que contribuíram direta ou indiretamente com o caminho que tracei até aqui. Podem ter certeza que todo o meu conhecimento adquirido foi graças ao esforço de cada um de vocês, e prometo que vou fazer ele valer a pena!

Às minhas crianças (Flora, Nina, Miguel, Cauã, Alice e Laís) por me motivarem todos os dias a dar o meu melhor para fazer o mundo um lugar mais saudável e feliz para quando vocês crescerem, vocês são a luz da vida da Tia Nana!

Ao meu melhor amigo, psicólogo e grande amor: Tyler. Obrigada por todo o companheirismo, incentivo, compreensão, paciência e torcida. Obrigada por todas as palavras de carinho e motivação, sem elas eu não teria tido a mesma força para terminar essa pesquisa! Obrigada também pelas as idas à biblioteca (hahaha), você é um anjo!

À minha orientadora e amiga, Camille Arraes Rocha, por ter me ajudado com tanta dedicação e competência, e por ter me passado todo seu conhecimento com tanta humildade e entusiasmo.

Ao meu co-orientador, professor Dr. Rivelino Martins Cavalcante, por ter me dado a oportunidade de fazer parte do seu laboratório e ter aprendido tanto nesses dois anos que lá fiquei. Serei eternamente grata!

Ao professor Dr. Adilson Wagner Gandu e à Prof.^a Dra. Lorena Cavalcante Lima De Freitas, por aceitarem fazer parte da minha banca.

Aos amigos de pesquisa: Íthala Saldanha, Elissandra Viana, Jefferson Perreira e Francisco Wagner, por toda a dedicação e ajuda durante o desenvolvimento desse trabalho, por todas as risadas e sufocos vividos. No fim deu tudo certo, gente!

Aos presentes que o LABOMAR me deu: Adson Queiroz, Deborah Coutinho, Giovana Farias, Isabelle Baima, Lorrana Santana e Lia Lima, por toda amizade durante todos os anos que vivemos juntos nesse instituto, por todos os “bafulês”, risadas, aniversários, lanches na padaria, desabafos e trabalhos em grupo. Vocês são pessoas maravilhosas que eu tenho muita sorte de ter na vida!

À Crica e Marina, sem vocês eu não teria conseguido chegar aqui, a vida fez com que a gente entrasse e saísse juntas da faculdade, e eu tenho muito orgulho da história e garra de nós três, compartilhamos as angústias e dificuldades juntas, agora vamos colher nossos frutos. Muita sorte e sucesso para nós, muito obrigada, meninas!

Às minhas amigas de escola: Lara Campana e Rhara Assef, por todo o companheirismo, momentos felizes e conversas que sempre me fazem desopilar e encarar a vida com mais leveza.

Aos meus colegas de laboratório: Antônio Derley, Davi Martins, Débora Carvalho, Gabrielle Melo, Lorena Sampaio, Luanny Medeiros, e Rafael Santos, que tanto me ajudaram durante a elaboração dessa pesquisa, obrigada pelas dúvidas tiradas, vidrarias lavadas (hahaha) e conversas durante o almoço, vocês são demais!

À Pollyana Morais, por todo o acolhimento e amizade desde que entrei no LACOr. Obrigada por me ajudar na execução desse trabalho e por me passar tanta calma e serenidade!

A todos os professores e funcionários do LABOMAR, principalmente a Eunice Menezes e Seu Murilo Costa, que durante todos os esses anos ajudaram todos os alunos de forma tão amigável e atenciosa.

A todos os funcionários da SEMACE que participaram das idas aos pontos de amostragem, obrigada ao tempo dedicado e atenção que tiveram conosco e com nossa pesquisa!

A todos que viabilizaram a instalação dos equipamentos em suas instituições e residências.

A UFC e ao CNPQ pelo auxílio financeiro durante minha graduação e durante o desenvolvimento dessa pesquisa, mais especificamente aos projetos CNPQ-SETEC/MEC N° 469265/17-2014, CNPQ-UNIVERSAL/MEC N°456582/2014-2 e CNPQ N° 487853/20130.

*“Há um prazer nos bosques inexplorados.
Há uma beleza na solitária praia.
Há uma sociedade que ninguém invade.
Perto do mar profundo e da música do seu bramir:
Não que ame menos o homem, mas amo mais a natureza”*

Lord Byron

RESUMO

No Brasil, o desenvolvimento das regiões litorâneas vem aumentando nos últimos anos em consequência da atividade turística, da urbanização e da industrialização. O município de São Gonçalo do Amarante, área de estudo da pesquisa, teve um crescimento demográfico desordenado nas últimas décadas. Atualmente, essa região vem sofrendo pressões socioambientais pela implementação de um Complexo Portuário no distrito do Pecém, e também pelo início da atividade de siderurgia no local. O Complexo abriga ainda em sua extensão, uma usina termelétrica, que utiliza o carvão mineral como combustível. Todavia, a queima desse tipo de composto causa impactos socioambientais, pois ocasiona emissão de contaminantes atmosféricos, principalmente de dióxido de enxofre (SO₂) e de óxidos de nitrogênio (NO_x), que prejudicam tanto a saúde humana, como o meio ambiente. Tendo em vista os notáveis impactos que essa região do Ceará vem sofrendo, o objetivo do trabalho é, portanto, avaliar a qualidade do ar por meio do cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQA), no Município de São Gonçalo do Amarante - CE, usando como parâmetro a distribuição espaço-temporal de SO₂, O₃, NO₂ e material particulado, bem como seus parâmetros influentes. As amostragens foram realizadas em duas campanhas no ano de 2017, a primeira entre os meses de julho e agosto, e a segunda entre os meses de setembro e outubro. Foram utilizados dois amostradores ativos (Trigás e Hi-vol), além de uma estação meteorológica, em cinco pontos diferentes. Os resultados mostraram que a primeira campanha registrou uma qualidade do ar ruim para um dos pontos, enquanto os outros tiveram uma qualidade do ar moderada. Já na segunda campanha, o mesmo ponto que antes teve sua qualidade do ar considerada ruim passou a ter a mesma classificada como muito ruim, e os outros pontos também tiveram uma piora no índice, tendo sua qualidade rebaixada para a categoria de ruim. Conclui-se que, durante o período monitorado, os moradores da região estavam expostos a riscos à saúde. Por fim, é necessário que esse o controle de poluentes atmosféricos na região seja contínuo, visto que a dinâmica de dispersão dos mesmos pode ser influenciada pelas condições meteorológicas do local e pela dinâmica de funcionamento das atividades industriais.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica, Região Litorânea, Saúde Pública, Industrialização.

ABSTRACT

In Brazil the development of coastal regions has been increasing in recent years as a result of tourism, urbanization, and industrialization. The municipality of São Gonçalo do Amarante, the study area, has in the last decades experienced disorderly demographic growth. Currently, this region has suffered socio-environmental pressures from the implementation of a port complex in the district of Pecém, and additionally since the steel industry begun operating in the area. The complex also has a thermoelectric plant, which uses coal as fuel. However, the burning of this compound causes social and environmental impacts, as it causes emissions of atmospheric pollutants, mainly sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x), which harm both human health and the environment. Considering the remarkable impacts that this region of Ceará has been suffering, the goal of this study is therefore to evaluate the air quality by calculating the Air Quality Index (AQI), in the Municipality of São Gonçalo do Amarante – CE, using as a parameter the spatial-temporal distribution of SO₂, O₃, NO₂ and particulate material, as well as its influential parameters. The samples were done in two different periods of 2017, the first one was in July and August, and the second one in September and October. Two active samplers were used (Trigás and Hi-vol), as well as a meteorological station, at five different areas. The results showed that the first period recorded unhealthy air quality for one of the areas, while the other areas registered a moderate air quality. Yet, in the second period the same area that previously recorded unhealthy air quality then registered a new record of very unhealthy, and in the other areas the air quality index worsened from moderate to unhealthy. The study concludes that during the monitored period residents of that region were exposed to health risks. Finally, it is necessary that atmospheric pollutants are continuously monitored in this area, once the dynamic of dispersion of these pollutants can be influenced by meteorological conditions of the local and by the dynamics of industrial activities

Keywords: Atmospheric Pollution, Coastal Region, Public Health, Industrialization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As regiões da atmosfera de acordo com a relação altitude x temperatura.....	20
Figura 2 – área de estudo da pesquisa	31
Figura 3 - Pontos Amostrados	32
Figura 4 - Amostrador Ativo Trigás	35
Figura 5 - Visão interna do Trigás.....	36
Figura 6 - Exemplo de amostra de NO ₂ após a coleta.	38
Figura 7 - Amostrador de Material Particulado Hi-Vol	40
Figura 8 - Filtro após a coleta.....	41
Figura 9 - Balança de alta precisão.....	41
Figura 10 - Estação meteorológica	42
Figura 11 - Diagrama da Obtenção do IQA	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar para diferentes órgãos de monitoramento ambiental...	22
Tabela 2 - Classificação da qualidade do ar de acordo com o IQA.....	28
Tabela 3 - Datas de amostragem das duas campanhas	34
Tabela 4 - Coeficiente de Spearman para as variáveis utilizadas no trabalho.....	51
Tabela 5 - IQA na primeira campanha para os pontos amostrados	52
Tabela 6 - IQA na segunda campanha para os pontos amostrados	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Velocidades médias do vento nos pontos de amostragem do estudo.....	44
Gráfico 2 - Umidade Relativa do Ar registrada nos pontos de amostragem	45
Gráfico 3 - Temperaturas médias para os pontos de amostragem da pesquisa	46
Gráfico 4 - Valores das concentrações de SO ₂ para as duas campanhas	47
Gráfico 5 - Valores das concentrações de NO ₂ para as duas campanhas	48
Gráfico 6 - Valores das concentrações de O ₃ para as duas campanhas	49
Gráfico 7 - Valores das concentrações de MP ₁₀ para as duas campanhas	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo
CLP	Camada Limite Planetária
CMP	Concentração do Material Particulado
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV's	Compostos Orgânicos Voláteis
ECP	Escola Comunidade Parada
ECT	Escola Comunidade Taíba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de Qualidade do Ar
MP	Material Particulado Atmosférico
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
O ₃	Ozônio
PI	Partículas Inaláveis
PFc	Peso do Filtro coletado
PFI	Peso do Filtro limpo
PTs	Partículas Totais
SAR	Sítio Área Rural
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SGA	São Gonçalo do Amarante
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UBS	Unidade Básica de Saúde
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
	2.1 A Atmosfera	19
2.2	Qualidade do Ar e seus parâmetros legais.....	20
	2.3 Fontes e Riscos à Saúde e ao Meio Ambiente.....	23
	2.3.1 Dióxido de Enxofre (SO ₂)	23
	2.3.2 Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	24
	2.3.3 Ozônio (O ₃).....	25
	2.3.4 Material Particulado (MP)	26
	2.4 Índice de Qualidade do Ar (IQA)	27
3	OBJETIVOS	30
	3.1 Objetivo geral	30
	3.2 Objetivos específicos	30
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
	4.1 Área de estudo	31
	4.1.1 Sítio Área Rural	33
	4.1.2 Unidade Básica de Saúde	33
	4.1.3 Escola Comunidade Parada	33
	4.1.4 Escola Comunidade Taíba	34
	4.1.5 SESC São Gonçalo do Amarante	34
	4.2 Estratégia de amostragem.....	34
	4.3 Metodologia de Amostragem do Trigás	35
	4.4 Preparo das Soluções e Métodos de Análise	37
	4.4.1 Soluções de NO ₂	37
	4.4.2 Soluções de O ₃	38
	4.4.3 Soluções SO ₂	39
	4.5 Material Particulado	40
	4.7. Metodologia de amostragem de dados auxiliares.....	41
	4.8 Cálculo do Índice de Qualidade do Ar	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
	5.1 Dados da Estação Meteorológica	44
	5.2 Poluentes.....	46

5.2.1 SO ₂	46
5.2.2 NO ₂	47
5.2.3 O ₃	49
5.2.4 MP ₁₀	50
5.3 Correlação entre dados meteorológicos e poluentes.....	51
5.4 IQA.....	52
6 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, a maioria da população mundial reside em Zonas Costeiras, e existe atualmente uma tendência contínua ao crescimento da concentração demográfica nessas regiões (BRASIL, 1990). A Zona Costeira é definida como, a área que abrange o mar, ar e terra, e é também uma das áreas que mais sofre estresse ambiental em escala mundial, além de encontrar-se sujeita a forte pressão por agressivas e variadas formas de uso do solo (GRUBER; BARBOZA; NICOLODI, 2003). Sendo assim, as práticas antrópicas realizadas na Zona Costeira sempre despertam a atenção de pesquisadores, pois os ecossistemas presentes nesses territórios se apresentam ecologicamente frágeis (MORAIS, 2009).

A Zona Costeira do Brasil compreende uma área de aproximadamente 514 mil km², na qual 324 mil km² dessa área total representam o território dos 395 municípios costeiros que se encontram distribuídos em 17 estados (BRASIL, 2008). A ocupação das regiões litorâneas vem aumentando nos últimos anos em consequência de três bases prioritárias para o desenvolvimento: a atividade turística, a urbanização e a industrialização (MORAIS, 2009). Outras atividades presentes nesse tipo de região são: atividade portuária, petrolífera, química, carcinicultura, pecuária, pesca e agricultura (BRASIL, 2008).

No estado do Ceará, o crescimento populacional e a expansão urbana desordenada começaram na capital, Fortaleza, e posteriormente foi se expandindo para o interior e litoral cearense (ARAÚJO; FREITAS; ALBUQUERQUE, 2008). Ainda segundo o mesmo estudo, existem diversos indícios da expansão que ocorreu no Ceará, dentre eles estão o crescimento de residências, a construção de ruas e rodovias, o consumo de energia em ambientes privados e público, o aumento da malha urbana, e outros.

O município de São Gonçalo do Amarante, área de estudo da pesquisa, assim como a capital cearense, teve um crescimento demográfico desordenado. Na década de 1970/1980 vivenciou o fenômeno chamado “Segundas Residências” (casas de veraneio), que se apropriaram de áreas não adequadas para construção, como a faixa de praia e campo de dunas (ALBUQUERQUE, 2005). Atualmente, além das casas de veraneio, a região de São Gonçalo do Amarante vem sofrendo pressões socioambientais pela implementação de uma estrutura industrial e portuária na região do Pecém, que começou a ser construída em 1996 (AZENHA; PEQUENO, 2016), e mais recentemente pela consolidação de uma siderúrgica, também no

distrito de Pecém, que em 2012 começou a ser construída, e agora em 2017 teve sua inauguração oficial (VALE, 2017). O Complexo Industrial e Portuário da região abriga ainda, em sua extensão, uma Usina Termelétrica, que utiliza o carvão mineral como combustível para geração de energia, o mesmo é transportado por uma correia que possui uma extensão de aproximadamente 12,5 km, que vai desde o Porto até a Usina (ENERGIAS DE PORTUGAL, 2014). Apesar da geração de energia e de capital por esses tipos de empreendimentos, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005) alerta para o uso do carvão mineral, pois a queima do mesmo para o funcionamento de indústrias e termelétricas causa impactos socioambientais, pois emite contaminantes atmosféricos, principalmente o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), que prejudicam tanto a saúde humana, como o meio ambiente.

Tendo em vista os notáveis impactos que essa região do Ceará vem sofrendo, o presente trabalho pretende investigar os impactos ambientais na área de estudo relacionados à poluição atmosférica. Busca-se determinar o índice de qualidade do ar, visando analisar o risco à saúde da população local, e relacionar os resultados obtidos com a presença dos diversos tipos de atividades realizados na área de estudo, além de associar os resultados com parâmetros meteorológicos como o comportamento dos ventos, umidade relativa do ar e temperatura na região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Atmosfera

A atmosfera terrestre pode ser definida como uma camada constituída pela presença de gases, radiação e material particulado que circunda nosso planeta e possui centenas de quilômetros (DIAS; ANDRADE NETO; MILITÃO, 2007). Além disso, segundo Ayoade (2010), a atmosfera do nosso planeta é descrita como uma camada fina de gases que se encontram em combinação estável, sendo os principais gases o nitrogênio, oxigênio, argônio, dióxido de carbono, ozônio e vapor d'água. O gás mais presente na atmosfera em termos de concentração é o nitrogênio, sendo responsável por 78% da composição da mesma, seguido pelo oxigênio que corresponde a 20% (DIAS; ANDRADE NETO; MILITÃO, 2007).

Para estudos meteorológicos considera-se que a atmosfera tem uma espessura que varia entre 80 a 100 km, sendo que a parte mais relevante para os fenômenos da meteorologia localiza-se nos primeiros 20 km da atmosfera (SILVA; CHAVES; LIMA 2009). É na atmosfera, por exemplo, que a água dos oceanos se condensa e é, então, transportada aos continentes, sendo assim, a atmosfera se apresenta como um elemento indispensável para o funcionamento do Ciclo Hidrológico (MOZETO, 2001). Dentre outras funções da atmosfera podemos citar a proteção que ela garante à Terra pelo fato de reter as radiações ultravioleta e outros tipos de radiações oriundas do espaço, o fornecimento de gases essenciais à vida, a retenção de calor proveniente do Sol, a manutenção da temperatura em nosso planeta, e a fragmentação de alguns meteoritos evitando que eles atinjam a Terra (ALMEIDA, 2016).

Segundo Mozeto (2001), a atmosfera é dividida em regiões de acordo com as diferenças de temperatura em relação a altitude, essas regiões são: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera (Figura 1). Jacobson (2002) afirma que, a troposfera é dividida em duas regiões específicas, a camada limite planetária (CLP) e a atmosfera livre, a primeira é a região em que nós vivemos, logo, é a região em que os poluentes atmosféricos se concentram, já a segunda é a “fronteira” entre a CLP e a tropopausa (última camada da troposfera). A relação das reações químicas na atmosfera e a poluição se dão, portanto, pelas interações que se iniciam pelas mudanças de temperatura, radiação solar, colisões moleculares e eventos de relâmpagos na atmosfera (JACOBSON, 2012).

começaram a ser utilizados, o carvão mineral por exemplo, foi usado em grandes proporções como substituto da lenha durante a produção de vapor do maquinário (FARIAS; SELBITTO, 2011).

Os países desenvolvidos, após perceberem que estavam degradando o meio ambiente durante esse processo de industrialização, começaram a buscar um maior controle e conscientização para evitar maiores danos à natureza provenientes das emissões de poluentes (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008). Em contrapartida, com o intuito de melhorar as condições econômicas e sociais, e reduzir as desigualdades, muitos países latino-americanos consideraram que o crescimento industrial era algo indispensável, assim, no fim dos anos 60 e início dos anos 70, países como o México, Venezuela e Brasil passaram por um intenso processo de industrialização que nem sempre foi bem planejado em termos de proteção ambiental (ROMIEU; WEITZENFELD; FINKELMAN, 2012).

Mundialmente, a qualidade do ar é analisada por meio de organizações não governamentais e agências oficiais, eles trabalham desenvolvendo metodologias, legislação pertinente ao tema e monitoramento da poluição atmosférica, uma agência de referência nessa área de estudo é a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, USEPA), (MAGALHÃES, 2005). Já no Brasil, o despertar para a problemática da poluição atmosférica ocorreu mais notadamente a partir da década de 1970, depois de acontecerem diversos problemas de saúde pública, o que trouxe mais conscientização da população a respeito do tema, assim como a adoção pelo poder público de ações com intuito de reduzir a poluição (JURAS, 2015). Ainda segundo o mesmo estudo, tais medidas focaram principalmente no monitoramento da poluição causada por atividades industriais, pois essa era a fonte principal de emissões naquela época.

A Resolução Nº 03, de 28 de junho de 1990, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que padrões de qualidade do ar são: “as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e ao bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”. Esses padrões são classificados em duas categorias: Padrões Primários e Secundários. Os padrões primários podem ser descritos como as “concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população”, os padrões secundários, por sua vez, são

aqueles que possuem suas concentrações de poluentes “abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população e ao meio ambiente em geral”.

Dessa maneira, a preocupação em relação aos efeitos negativos da poluição atmosférica passa por um processo de identificação dos níveis (concentração dos principais poluentes no ar) que garantem a proteção da saúde humana e do meio ambiente (SANTANA; CUNHA; FERREIRA, 2012). Os níveis permitidos de concentração dos poluentes, por sua vez, variam de país para país (WAI *et al.*, 2012), na Tabela 1 é possível ver essa variação entre o CONAMA, USEPA, OMS e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Por fim, apesar de nosso país possuir uma ampla legislação sobre o tema, incluindo planos e programas que visam à diminuição da poluição atmosférica, ainda não possuímos eficácia no controle e fiscalização da legislação, o que torna a preservação da qualidade do ar no Brasil um grande desafio (ROCHA, 2017).

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar para diferentes órgãos de monitoramento ambiental.

Poluente	CONAMA*	USEPA	OMS	CETESB
SO₂	365 µg/m ³ - 24h	196 µg/m ³ - 1h	20 µg/m ³ - 24h	20 µg/m ³ - 24h
NO₂	320 µg/m ³ - 1h	188 µg/m ³ - 1h	200 µg/m ³ - 1h	200 µg/m ³ - 1h
O₃	160 µg/m ³ - 1h	140 µg/m ³ - 8h	100 µg/m ³ - 8h	100 µg/m ³ - 8h
MP₁₀	150 µg/m ³ - 24h	150 µg/m ³ - 24h	50 µg/m ³ - 24h	50 µg/m ³ - 24h

Fonte: adaptado de Conama (1990); USEPA (2016); OMS (2005); SÃO PAULO (2013).

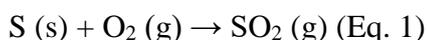
*Padrões Primários

2.3 Fontes e Riscos à Saúde e ao Meio Ambiente

2.3.1 Dióxido de Enxofre (SO₂)

Dentre os principais poluentes atmosféricos que prejudicam a sociedade, podemos citar o dióxido de enxofre (SO₂), que quando presente na atmosfera pode gerar prejuízos às plantas, corpos hídricos, bens arquitetônicos e artísticos e à saúde humana (CARDOSO; FRANCO, 2002). De acordo com a USEPA (2016), o dióxido de enxofre tem como principais fontes o uso de combustíveis fósseis para a geração de energia, veículos que utilizam combustíveis com uma grande quantidade de enxofre, atividades de indústrias como a de extração de metal a partir de minérios, além de fontes naturais como vulcões.

A dinâmica de formação do SO₂ acontece com a queima de um combustível que tenha enxofre em sua composição, além disso, outros tipos de gases também são emitidos nesse processo, mesmo que o enxofre tenha diferentes formas dependendo do tipo de composto formado, a reação do mesmo é representada pela equação geral a seguir (CARDOSO; FRANCO, 2002):



Segundo a CETESB (2014), a exposição das pessoas ao dióxido de enxofre acomete as vias respiratórias, causando efeitos negativos à saúde como dificuldade em respirar, mudança no funcionamento dos pulmões, piora nos quadros de doenças cardiovasculares e respiratórias. O órgão ambiental afirma também que o composto provoca irritação na garganta, nariz e pulmões, o que ocasiona falta de ar, tosse e crises de asma, além disso, os indivíduos mais afetados são aqueles que possuem doenças crônicas relacionadas ao coração e pulmões, indivíduos asmáticos, e crianças.

O dióxido de enxofre também causa muitos danos ao meio ambiente, como por exemplo: impactos negativos na vegetação (incluindo sistemas florestais e agrícolas). Estudos realizados nos Estados Unidos e em outros países mostraram que plantas expostas a altos níveis de SO₂ estão sujeitas a perder sua folhagem, morrer ainda jovem e se tornarem menos produtivas (WORLD BANK GROUP, 1999). Outro impacto ambiental é acidificação de corpos

hídricos, pois o composto em questão diminui os níveis de pH da água (WORLD BANK GROUP, 1999), e contribuição para o processo de formação da chuva ácida (USEPA, 2017).

2.3.2 Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2000), na atmosfera podemos encontrar diversos óxidos de nitrogênio, mas o poluente atmosférico mais relevante em termos de efeitos à saúde humana é o dióxido de nitrogênio (NO₂). Esse composto tem como característica a solubilidade em água, cor marrom avermelhada e forte poder oxidante, ele também é um importante gás para atividades de monitoramento, pois afeta não só a saúde humana como também é responsável por absorver radiação solar visível, o que gera danos a visibilidade, além de ter uma possível influência direta, quando em altas concentrações, nas mudanças climáticas que estão ocorrendo em escala global (OMS, 2000).

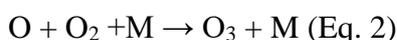
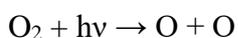
As principais fontes naturais de NO₂ são atividades vulcânicas e os raios, por outro lado, podemos citar como fonte antrópica a combustão de combustíveis fósseis para geração de energia, uso de aquecedores, e veículos motorizados que possuem combustão interna em seus motores (OMS, 2000). Quando somos expostos à uma atmosfera com altos níveis de NO₂ estamos sujeitos a sofrer irritações nas nossas vias respiratórias, essa exposição quando acontece por curtos períodos de tempo pode levar a piora no quadro de doenças respiratórias, como a asma, acarretando sintomas como chiado, tosse e dificuldade em respirar (USEPA, 2017). Já longos períodos de exposição ao NO₂ podem causar o desenvolvimento da asma e de possíveis infecções respiratórias, deve-se salientar que os grupos mais sensíveis a esse tipo de composto são: as crianças, os idosos e as pessoas com asma (USEPA, 2017).

Em relação aos efeitos negativos causados ao meio ambiente por conta do NO₂, podemos citar a conversão do mesmo em ácido nítrico e nitratos, que são responsáveis por aumentar o número de partículas respiráveis no ar, e em compostos tóxicos de origem orgânica (VESILIND; MORGAN, 2011). Ainda segundo os mesmos autores, o NO₂ também pode ocasionar a chuva ácida, que gera impactos negativos na vegetação e na colheita.

2.3.3 Ozônio (O₃)

O ozônio é um gás composto por três átomos de oxigênio, e que se encontra tanto na troposfera quanto na estratosfera, apesar de não ser um dos principais gases na composição geral da atmosfera (USEPA, 2017). O ozônio pode ser benéfico ou maléfico, dependendo do local em que o mesmo se encontra, o ozônio troposférico, por exemplo, é um gás poluente, no entanto na baixa estratosfera o mesmo gás age como um filtro natural para o nosso planeta, pois intercepta os raios ultravioleta que são nocivos aos seres vivos (ANDRÉ; ZAVATTINI, 2002).

Segundo Farias (2010), a formação do ozônio na estratosfera se dá a partir da ação da radiação no espectro do ultravioleta. Essa radiação faz com que o O₂ seja quebrado e então forma os dois átomos de oxigênio. Esses átomos quando estão na presença de N₂, que tem poder de catalisar a reação, reagem com uma nova molécula de O₂ dando origem ao ozônio (O₃) – (Eq. 2). É importante observar que para a formação do ozônio, o oxigênio utiliza a radiação UV, em outras palavras, consome a radiação. Em razão disso, o ozônio apresenta-se como um filtro de UV, pois o mesmo consome o UV durante sua formação, evitando que ele chegue até nós (FARIAS, 2010).



De acordo com Orlando (2008), o ozônio tem como fonte principal na troposfera a interação dos seus gases precursores CO, COVs e NO_x com a radiação ultravioleta ($\lambda < 335$ nm). Ainda segundo o mesmo autor, além de ser produzido fotoquimicamente na troposfera, o transporte vertical de ozônio proveniente de regiões mais altas da troposfera e da estratosfera pode ser caracterizado com outra fonte deste composto.

Dentre os efeitos danosos à saúde humana causados pela exposição imprópria ao ozônio podemos citar: dores de cabeça e dores no peito, irritação na garganta, tosse, envelhecimento acelerado dos tecidos pulmonares, e diminuição da função pulmonar para pessoas que se exercitam constantemente em ambientes em que a concentração de O₃ é maior que 0,30 ppm (JACOBSON, 2002). O ozônio é também um dos principais responsáveis por causar danos à

vegetação, isso porque se apresenta como um composto tóxico às plantas, causando danos à folhagem e ao desenvolvimento da planta em termos de altura. (AGARWAL, 2009).

2.3.4 Material Particulado (MP)

Material Particulado é definido como um grupo de poluentes formados por poeiras, fumaças e qualquer outro tipo de matéria sólida ou líquida que permanece suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho (CETESB, 2011). Esses materiais sólidos ou líquidos podem ser oriundos de fontes naturais ou antropogênicas, mas também podem ser produzidos na atmosfera pela interação entre elementos químicos já presentes na mesma, assim podem ser classificados respectivamente como: primários e secundários (MAGALHÃES, 2005).

O Material Particulado também pode ser classificado de acordo com seu tamanho. As partículas menores são mais prejudiciais à saúde humana do que as partículas maiores, sendo assim, são monitorados apenas os particulados que possuem um diâmetro menor do que 10 μm (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2009). Essas partículas menores que 10 μm são chamadas de partículas inaláveis, e podem ainda ser divididas em duas categorias: as inaláveis finas MP 2,5 (<2,5 μm) e as inaláveis grossas (2,5 a 10 μm). As partículas finas, em virtude do seu tamanho, são capazes de chegar aos alvéolos pulmonares, as grossas, por sua vez, ficam presas na região superior do sistema respiratório, além disso, outro efeito negativo da presença do material particulado na atmosfera é a redução da visibilidade (CETESB, 2017).

Segundo Magalhães (2005), o tempo que as partículas permanecerão no ar vai depender diretamente do tamanho das mesmas, podendo esse tempo ser de dias ou semanas, além disso, as partículas podem ser transportadas em escala regional e inclusive global, por causa da ação de correntes de ar. O autor afirma ainda que as partículas grossas são capazes de sedimentar rapidamente, o que faz com que elas sejam constantemente ressuspensas por conta dos ventos e do fluxo de veículos.

Em relação às fontes desse tipo de poluente atmosférico, a USEPA (2016) afirma que, alguns são emitidos diretamente de uma fonte específica como canteiros de obras, rodovias não pavimentadas, incêndios e chaminés. Porém, a maioria dos particulados tem origem nas reações

químicas de compostos como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio, que são poluentes oriundos da produção de energia, indústrias e veículos em geral (USEPA, 2016). Mais detalhadamente, segundo (AGARWAL, 2009), essas fontes podem ser: carregamento e descarregamento de areia, carvão ou cal, moagem de pedras e cimento, queima de combustíveis fósseis, indústria metalúrgica (fundição de materiais), mineração (explosão de materiais) e pela atividade agrícola (preparação do solo).

2.4 Índice de Qualidade do Ar (IQA)

O início do desenvolvimento de indicadores ambientais se deu em 1989 quando o Canadá sugeriu a Cúpula Econômica do Grupo dos Sete, instituição que reuni os países mais ricos do mundo, a solicitar a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) a iniciar estudos para a elaboração dos indicadores (RUFINO, 2002). Ainda segundo o mesmo estudo, após esse “ponta pé” inicial, muitos encontros e eventos com a temática ambiental aconteceram e os índices passaram a ser uma realidade nos estudos ambientais.

Segundo Meadows (1998), indicadores podem ser instrumentos de mudanças, divulgação e obtenção de conhecimento, os mesmos precisam ser puramente objetivos, apesar de alguns não possuírem essa característica, e podem ser representados não apenas por números como também por cores, símbolos e imagens. Ainda, os indicadores podem ser usados internacionalmente e nacionalmente em monitoramento do meio ambiente e relatórios que almejem guiar a promoção do desenvolvimento sustentável, além disso eles podem ser usados por governos para determinar políticas públicas e estabelecer prioridades.

Especificamente, o Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta que relata diariamente as condições da qualidade do ar em um certo local, é um índice capaz de dizer o quão limpo ou insalubre o ar se encontra e os efeitos à saúde que podem estar associados (USEPA, 2014). Segundo Lisboa e Kawano (2007), a CETESB vem usando o IQA desde 1981, e o cálculo do mesmo é realizado com base no conhecimento obtido durante muitos anos nos Estados Unidos e no Canadá. Ainda segundo o mesmo estudo, a USEPA compilou todo esse conhecimento e elaborou a metodologia oficial para o uso do IQA.

O IQA existe atualmente em diversos países, porém, algumas variações podem ser encontradas de país para país, um dos motivos que explica essas divergências é o fato que cada país possui sua legislação própria, com níveis e padrões diferentes, logo, o modo de calcular o índice também varia (WAI, *et al.*, 2012).

A vantagem do IQA é a facilidade de compreensão e divulgação de estudos complexos de poluição atmosférica (CETESB, 2017). O IQA foca nos efeitos a curto prazo (horas e dias) que a exposição a certos compostos podem causar às pessoas que respiram aquele ar específico (USEPA, 2014). De acordo com a CETESB (2017), cada poluente irá se encaixar em uma determinada faixa qualitativa do índice (valor adimensional), de acordo com sua concentração final (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação da qualidade do ar de acordo com o IQA

Qualidade	Índice	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: adaptado de CETESB, 2017.

O índice de um determinado local é definido pelo poluente que teve a pior classificação, por exemplo, se a maioria dos poluentes foi classificado com uma qualidade boa, mas apenas um teve sua classificação como “ruim”, o índice daquela área será divulgado como ruim (CETESB, 2017). Ainda segundo a CETESB (2017), cada nível do índice (cor e classificação) está relacionado com efeitos à saúde, ou seja, cada nível representa um efeito específico na saúde das pessoas (Quadro 1).

Quadro 1 - Qualidade do ar e seus efeitos à saúde

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 – 40	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Moderada	41 – 80	
Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: adaptado de CETESB, 2017.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar por meio do índice de qualidade do ar (IQA) no Município de São Gonçalo - CE, usando como parâmetro a distribuição espaço temporal de SO₂, O₃, NO₂ e material particulado, bem como seus parâmetros influentes.

3.2 Objetivos específicos

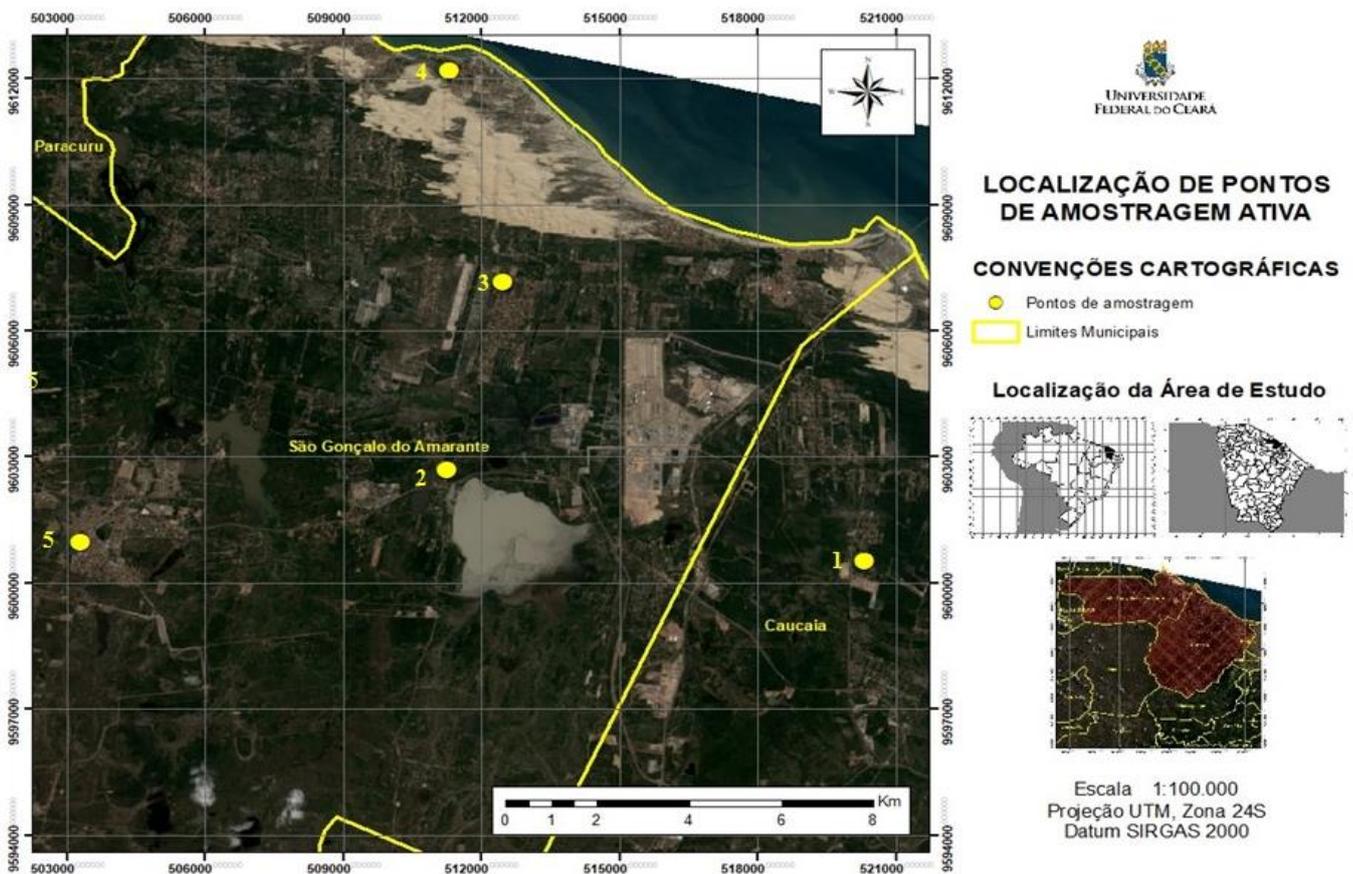
- Determinar a concentração de SO₂, O₃ e NO₂ e Material Particulado nos mais diversos tipos de ambientes da área de estudo.
- Investigar a influência dos parâmetros meteorológicos na ocorrência e distribuição de SO₂, O₃ e NO₂ e Material Particulado.
- Analisar o uso do IQA como ferramenta de avaliação da qualidade do ar.
- Determinar áreas com boa e má qualidade do ar visando auxiliar na formulação de futuras políticas habitacionais na área de estudo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017) o município de São Gonçalo do Amarante possui extensão territorial de 834,448 km², com uma população de 43.890 pessoas, sendo 35% residentes rurais e 65% residentes urbanos, e localiza-se há 60 km de Fortaleza. As amostragens do presente trabalho foram realizadas em cinco diferentes pontos de apoio, sendo um localizado no município de Caucaia, e todos os outros em São Gonçalo do Amarante (Figura 2). Cada ponto enumerado no mapa abaixo corresponde a um ponto de amostragem.

Figura 2 – área de estudo da pesquisa

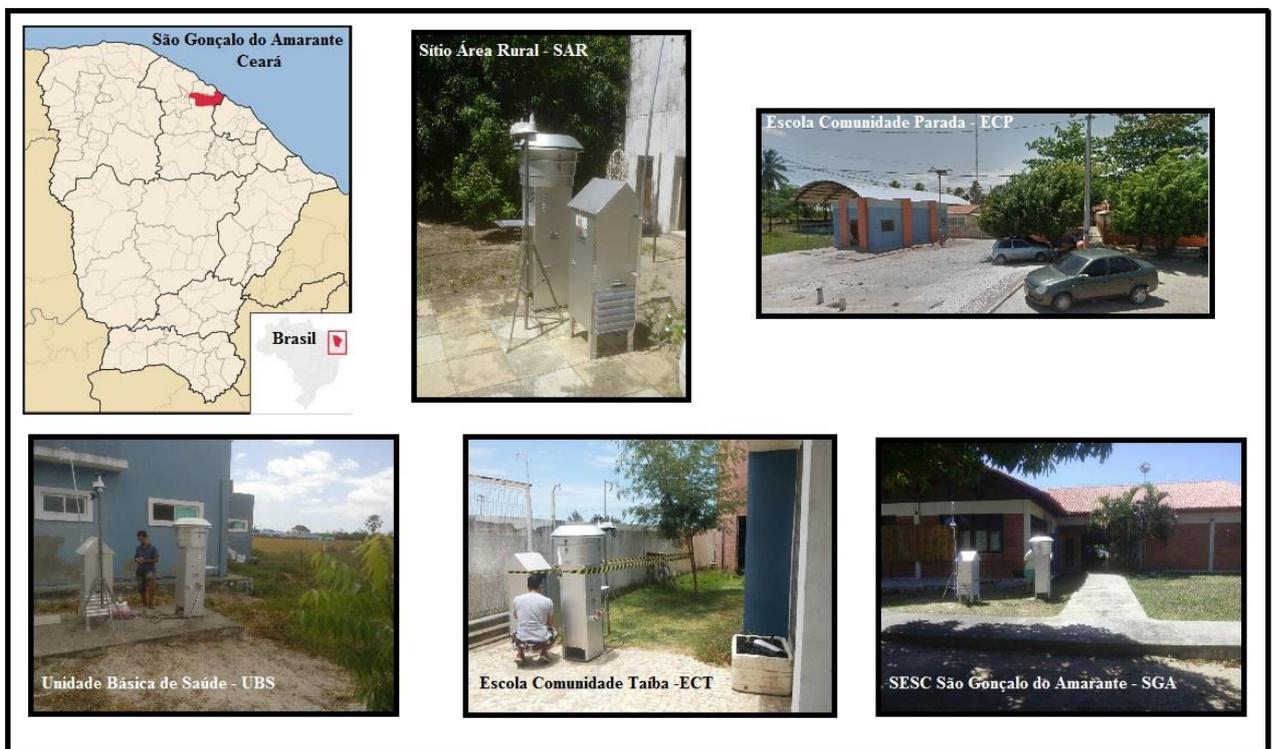


Fonte: a autora

Além disso, com o intuito de melhorar o entendimento do leitor em relação aos pontos de amostragem, para cada um deles foi estabelecida uma sigla (Figura 3):

1. Sítio Área Rural (SAR) – 3°37'38.79" S/38°48'52.76" O/ 23 metros;
2. Unidade Básica de Saúde (UBS) – 3°35'44.02" S/38°53'53.32" O/ 27 metros;
3. Escola Comunidade Parada (ECP) – 3°33'13.10" S/38°53'13.51" O/ 21 metros;
4. Escola Comunidade Taíba (ECT) – 3°30'29.16" S/38°53'29.96" O/ 19 metros;
5. SESC São Gonçalo do Amarante (SGA) – 3°36'44.15" S/38°58'12.35" O/ 16 metros.

Figura 3 - Pontos Amostrados



Fonte: a autora.

A escolha dos pontos de amostragem foi baseada na infraestrutura que o local poderia oferecer, pois para os amostradores ativos fez-se necessária a existência de fonte de energia elétrica, assim como um ambiente que oferecesse segurança para garantir a integridade e conservação dos equipamentos utilizados. Além disso, observou-se a distribuição dos pontos para que os mesmos pudessem proporcionar uma visão geral dos mais diversos tipos de

ambientes do município e também que fossem pontos significativos para a população, por isso a escolha de escolas e de uma unidade básica de saúde.

4.1.1 Sítio Área Rural

Esse ponto de amostragem encontrava-se em um terreno cercado por vegetação típica da região, cajueiros, mangueiras, coqueiros, dentre outros tipos de árvore. Apesar de ser um local considerado rural o mesmo fica localizado a menos de 500 metros da rodovia CE-421. Além disso, bem ao lado desse terreno existe um loteamento de grande porte que dará origem a um novo empreendimento na região. O Sítio, ao contrário de todos os outros pontos de amostragem, não se localiza no município de São Gonçalo do Amarante, mas sim no município de Caucaia, porém, é semelhante em termos de características ecossistêmicas.

4.1.2 Unidade Básica de Saúde

A Unidade Básica de Saúde localiza-se na localidade de Acende Candeia e recebe os moradores do entorno não só para realização de exames de rotina como também para a realização de campanhas de conscientização em relação aos cuidados da saúde. O Local fica em frente a CE-156 e encontra-se ao leste do Complexo Industrial do Pecém. Ao redor do prédio não existia uma vegetação densa, mas sim uma vegetação rasteira, com a presença de gramíneas.

4.1.3 Escola Comunidade Parada

A escola “Poetisa Abigail Sampaio” foi o terceiro ponto de amostragem, a mesma se encontra na continuação da rodovia CE-156. A escola localiza-se ao norte do ponto anterior (UBS), e em relação à praia da Taíba a mesma encontra-se ao sul. A escola tem em seu entorno casas residenciais e também uma rotatória que dá acesso a CE-421.

4.1.4 Escola Comunidade Taíba

A escola “Professora Alba Herculano de Araújo” se encontra na comunidade da Taíba há cerca de 200 metros da faixa de praia. A escola é resultado de uma doação feita pela usina termelétrica Energia Pecém que construiu o prédio por meio do projeto chamado “Adequação da Estrutura Urbana”, que faz parte do Programa de Controle e Monitoramento Ambiental (PCMA) (LIMA, 2011). O local possui uma estrutura muito boa e uma ampla área total.

4.1.5 SESC São Gonçalo do Amarante

Esse foi o último ponto de amostragem e o mesmo se encontra no centro do Município de São Gonçalo de Amarante, ou seja, possui características mais urbanas quando comparado aos outros pontos. Entretanto, o mesmo não se localiza ao redor de grandes rodovias, e sim de vias com fluxo de automóveis menos intenso. O prédio possui uma boa infraestrutura e atua com um centro educacional para as crianças que residem na região.

4.2 Estratégia de amostragem

O presente trabalho foi realizado por duas campanhas distintas, a primeira aconteceu entre os meses de julho e agosto, já a segunda entre os meses de setembro e outubro. As coletas foram feitas em duplicata em todos os cinco pontos, ou seja, os aparelhos de medição permaneceram no mesmo ponto durante dois dias seguidos (Tabela 3).

Tabela 3 - Datas de amostragem das duas campanhas

Local	1ª Campanha	2ª Campanha
SAR	27 a 29 de julho	25 a 27 de setembro
UBS	02 a 04 de agosto	27 a 29 de setembro
ECP	09 a 11 de agosto	02 a 04 de outubro
ECT	15 a 17 de agosto	04 a 06 de outubro
SGA	23 a 25 de agosto	09 a 11 de outubro

Fonte: a autora

O horário de início das amostragens variou de ponto para ponto, mas em média os equipamentos foram instalados entre 10 a 12 horas da manhã. Os amostradores ativos utilizados,

Trigás e Hi-vol, foram programados para amostrar durante um período de 24 horas, já a estação meteorológica foi configurada para coletar dados a cada 15 minutos.

É importante ressaltar que não foi possível realizar a pesquisa em campo no primeiro semestre de 2017 em razão da verificação e otimização da metodologia a ser utilizada. O primeiro semestre foi, então, dedicado exclusivamente a testes de soluções e calibração dos aparelhos.

4.3 Metodologia de Amostragem do Trigás

A amostragem de SO_2 , O_3 e NO_2 foi realizada com o auxílio do amostrador Trigás (Figura 4), da marca ENERGÉTICA Qualidade do Ar, que é capaz de coletar simultaneamente três gases diferentes. O Trigás é um amostrador de caráter ativo, ou seja, é um equipamento que possui uma bomba que coleta um determinado volume de ar, por um período de tempo específico (LISBOA; KAWANO, 2007). A bomba a vácuo presente no Trigás faz com que o ar borbulhe dentro de um frasco contendo um reagente especial, com uma vazão conhecida. Posteriormente, a amostra é levada para análise em laboratório para a quantificação da concentração de um determinado poluente (DIAS, 2015).

Figura 4 - Amostrador Ativo Trigás



Fonte: a autora

Mais detalhadamente o procedimento de amostragem consistiu basicamente em pipetar 50 mL do reagente absorvente no frasco de vidro do trigás e configurar o aparelho em modo automático (Figura 5). O equipamento permite que a vazão seja determinada a critério do usuário, pois o mesmo possui uma agulha interna que controla a vazão de amostragem.

Figura 5 - Visão interna do Trigás.



Fonte: a autora

Para o presente trabalho foram utilizadas agulhas que permitiram o funcionamento do equipamento em uma vazão de 0.2 L/min, durante o tempo determinado pela equipe (22 ou 24 horas). A concentração final dos gases depende diretamente dos dados de temperatura, pressão atmosférica e volume total amostrado durante o tempo de coleta, sendo assim, esses dados foram utilizados para o cálculo da concentração final de cada poluente. Esse cálculo foi realizado com o auxílio de uma planilha no Excel elaborada especificamente para os gases coletados pelo Trigás.

4.4 Preparo das Soluções e Métodos de Análise

Todas as soluções foram feitas com água mili-q, com o objetivo de evitar que impurezas pudessem contaminar as soluções e, conseqüentemente, as amostras. O trabalho que fundamentou o preparo das soluções foi o livro “Methods of Air Sampling and Analysis” (1988) de James P. Lodge, Jr. Segundo a literatura citada anteriormente, todas as soluções permanecem estáveis se bem armazenadas em um vidro do tipo âmbar na geladeira, logo, após o preparo das soluções as mesmas foram armazenadas seguindo a orientação do autor.

4.4.1 Soluções de NO₂

O preparo da Solução Estoque (0,1%) foi feito pesando-se 0,1 gramas do reagente Dicloridrato de Naftil 1 Etilenodiamino bicloridrato (NEDA) em uma balança analítica, em seguida o reagente foi dissolvido em 100mL de água milli-q.

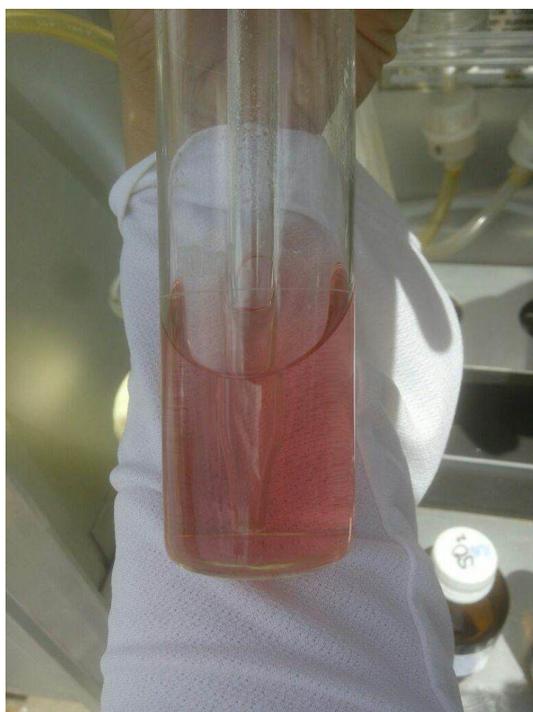
Para o Reagente Absorvente, que foi utilizado nas amostragens, dissolveu-se 5 gramas de ácido sulfanílico em aproximadamente um litro de água contendo 140 mL de ácido acético glacial. Após esse primeiro passo, quando a solução atingiu uma temperatura ambiente, adicionou-se 20mL da solução estoque de NEDA 0,1%, e dilui-se em 1 L. Evitou-se longo contato com o ar durante a preparação e uso, uma vez que o autor afirma que a descoloração pode acontecer por conta da absorção do dióxido de nitrogênio. Ainda segundo a literatura consultada, o Reagente Absorvente deve estar em temperatura ambiente antes do seu uso.

Para a análise das amostragens uma curva de calibração foi elaborada com base na Solução Estoque de Nitrito de Sódio. Essa Solução Estoque foi feita pesando-se 2,03 gramas de nitrito de sódio, depois, transferiu-se o composto para um balão volumétrico de 1L. Em seguida água milli-q foi adicionada à mistura, e por fim dissolveu-se e aferiu-se. Uma vez que a Solução Estoque de Nitrito estava pronta, 10 mL foram coletados e diluídos para 1L de água milli-q. Em termos analíticos, um mL desta solução de trabalho produz uma cor equivalente a 10µm de dióxido de nitrogênio (LODGE JR, 1988). Essa solução foi preparada na hora, e como mencionado anteriormente, foi utilizada para a elaboração da curva de calibração. Segundo o autor, a calibração pela solução de nitrito é baseada pela a observação empírica de que 0,72 moles de nitrito de sódio produz a mesma cor que 1 mol de dióxido de nitrogênio

A curva de calibração foi construída com o auxílio de 5 balões volumétricos de 25mL, em cada um deles foi adicionada uma quantidade de 0; 0,2; 0,4; 0,6 e 1 mL da solução diluída de nitrito de sódio. Esses balões possuíam respectivamente 1, 2, 4, 6 e 10 μ L de dióxido de nitrogênio. Em seguida dilui-se a solução com o reagente absorvente até a marca de 25 mL, a mistura foi deixada em descanso por 15 minutos para que as cores necessárias para a leitura fossem formadas.

As amostras de NO₂ (Figura 5) foram levadas ao laboratório de leitura entre 40 a 60 minutos depois das coletas, e foram lidas as absorbâncias em UV-VIS 552 nm com uma cubeta de referência contendo a solução absorvedora.

Figura 6 - Exemplo de amostra de NO₂ após a coleta.



Fonte: a autora

4.4.2 Soluções de O₃

Para a amostragem de O₃ foram utilizadas as seguintes soluções: Solução Absorvente KI (iodeto de potássio) 1% em tampão fosfato 0,1M, Solução Estoque 0,025M I₂ (iodo) e Solução para a curva padrão. A Solução Absorvente foi feita dissolvendo-se 13,6 gramas de

fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4), 14,2 gramas de fosfato de sódio bibásico (Na_2HPO_4) e 10 gramas de iodeto de potássio (KI) para 1L de água milli-q. A mistura ficou em repouso durante um dia em um balão de 1L protegido da luz. Depois das 24 horas de repouso o pH da solução foi ajustado para 6,8 com hidróxido de sódio (NaOH). Essa etapa final foi feita em um becker, com uma barra magnética, sobre uma chapa de agitação.

A Solução Estoque 0,025M I_2 foi feita a partir da dissolução de 16 gramas de KI e 3,173 gramas de iodo ressublimado para 500 mL de água milli-q. Para finalizar o processo de preparo a solução ficou em repouso por um 1 dia em um balão de 500 ml. Para a amostragem do O_3 a solução reagente não pôde ser exposta ao sol, e durante a amostragem a solução absorvente manteve-se refrigerada no poço de refrigeração do trigás, essas instruções foram dadas pela literatura consultada.

O método de análise das amostras de O_3 foi o mesmo utilizado para analisar as amostras de NO_2 . Entretanto, ao invés das mesmas terem sido lidas no intervalo de 552 nm, elas foram lidas em UV-VIS 352 nm. Por fim, a correção com o branco foi feita medindo a absorbância do reagente que não foi exposto, e subtraindo pelo valor da absorbância da amostra.

4.4.3 Soluções SO_2

Para amostragem de SO_2 os seguintes reagentes e soluções foram utilizadas: Peróxido de Hidrogênio 30% e Ácido Clorídrico (HCl) 0,6N. A primeira etapa para a preparação da Solução Absorvedora foi pipetar 5 mL de HCl concentrado (aproximadamente 12 N) em um balão de 100mL e depois diluiu-se até a marca com água mili-q. Em seguida, foram pipetados 20 mL de Peróxido de Hidrogênio 30% em um balão volumétrico de 1L. Por fim, pipetou-se 0,1 mL da solução de 0,6 N HCl no balão e diluiu-se até a marca com água mili-q.

O método de análise para o SO_2 , conforme a literatura consultada, é o da cromatografia iônica. Esse método caracteriza-se por ser multifuncional, sensível e seletivo para separar e determinar uma sequência de íons existentes em baixas concentrações, permitindo ainda a especificação de poluentes ambientais (MARQUES, 1999). Para o presente trabalho foi realizada a cromatografia iônica com base no método da condutividade, o mesmo foi capaz de separar a amostra em diferentes tipos de ânions, incluindo o sulfato. As concentrações dos

compostos foram registradas em ppm (partes por milhão) e posteriormente transformadas para $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.5 Material Particulado

Para as amostragens de MP_{10} o amostrador Hi-Vol (Amostrador de Grande Volume para Material Particulado) da marca *Ecotech* foi utilizado (Figura 7). Esse equipamento é capaz de indicar as concentrações de partículas totais em suspensão, PTS (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$), no ar tanto em ambiente externo quanto interno (GOMES *et al.*, 2010). Vale ressaltar que, para esse estudo, o equipamento foi configurado e montado para coletar o MP de até 10 micrômetros

Para a quantificação do poluente em questão foram usados filtros de fibra de vidro que tinham a função de reter as partículas (Figura 8). A umidade presente nos filtros foi retirada anteriormente à coleta, o processo aconteceu com o auxílio de uma estufa configurada com uma temperatura média de 75°C . O filtro permaneceu 48 horas na mesma e após ser retirado ele foi pesado em uma balança de alta precisão (Figura 9). Esse processo é muito importante pois, depois da coleta, o mesmo procedimento de pesagem foi realizado com o intuito de obter o peso do filtro coletado.

Figura 7 - Amostrador de Material Particulado Hi-Vol



Fonte: a autora

Figura 8 - Filtro após a coleta



Fonte: a autora

Figura 9 - Balança de alta precisão



Fonte: a autora

Sendo assim, o cálculo da concentração de material particulado foi realizado segundo a seguinte equação (ROCHA, 2017):

$$\text{CMP} = (\text{PFc} - \text{PFI}) / \text{Qar} \text{ (Eq.3)}$$

Onde:

CMP = Concentração do material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PFc = Peso do filtro coletado (μg)

PFI = Peso do filtro limpo (μg)

Qar = Volume de ar passado pelo filtro durante a coleta (m^3)

4.7. Metodologia de amostragem de dados auxiliares

A estação meteorológica (Figura 10) foi utilizada em todos os cinco pontos de amostragem. A estação foi programada para gerar dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento. Esses dados foram armazenados em seu *datalogger* e posteriormente exportados em forma de planilhas para o programa *Excel* da *Microsoft*. Todos

os dados foram transformados em médias aritméticas e deram origem a gráficos, elaborados com o auxílio do *software OriginPro*, com todos os pontos de amostragem e seus respectivos parâmetros meteorológicos.

Figura 10 - Estação meteorológica



Fonte: Rocha, 2014

Os dados de pressão atmosférica, por sua vez, foram coletados a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os valores para esse dado específico foram obtidos através da estação meteorológica que o INMET possui em Fortaleza, e foram utilizados para a realização do cálculo da concentração final dos poluentes.

4.8 Cálculo do Índice de Qualidade do Ar

O cálculo do IQA é oficialmente realizado para sete poluentes diferentes, SO₂, PTs, PI, Fumaça, CO, O₃ e NO₂, entretanto, o presente trabalho levou em consideração apenas os seguintes parâmetros: SO₂, NO₂, MP₁₀ e O₃. O cálculo para a obtenção do índice (Equação 4) e o modo como o mesmo é obtido (Figura 11) estão demonstrados a seguir (KIELY, 1996):

$$\text{Índice} = \text{Índice}_{\text{inicial}} + [(\text{Índice}_{\text{final}} - \text{Índice}_{\text{inicial}} / \text{Conc.}_{\text{final}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}})] \times (\text{Conc.}_{\text{medida}} - \text{C.}_{\text{inicial}})$$

Onde:

Índice = IQA desejado

Índice_{inicial} = Valor do índice correspondente à Conc._{inicial}

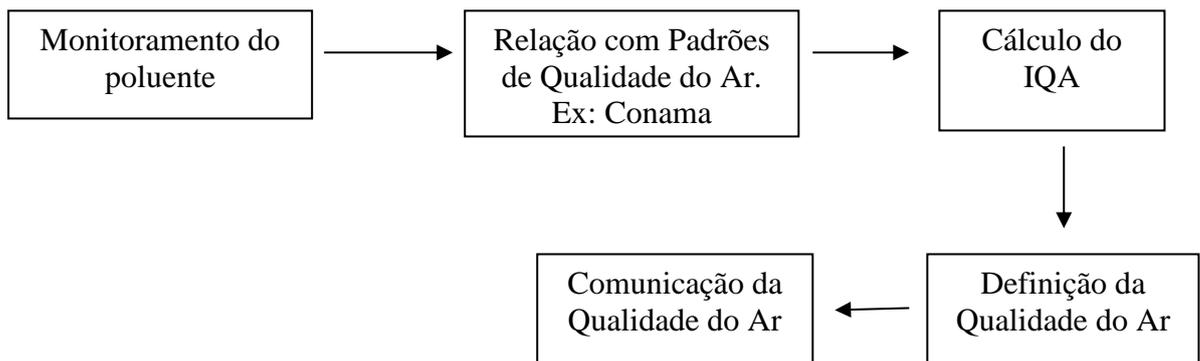
Índice_{final} = Valor do índice correspondente à Conc._{final}

Conc._{inicial} = Concentração inicial da faixa onde se encontra a concentração medida

Conc._{final} = Concentração final da faixa onde se encontra a concentração medida

Conc._{medida} = Concentração Medida

Figura 11 - Diagrama da Obtenção do IQA



Fonte: Adaptado de Kiely, 1996.

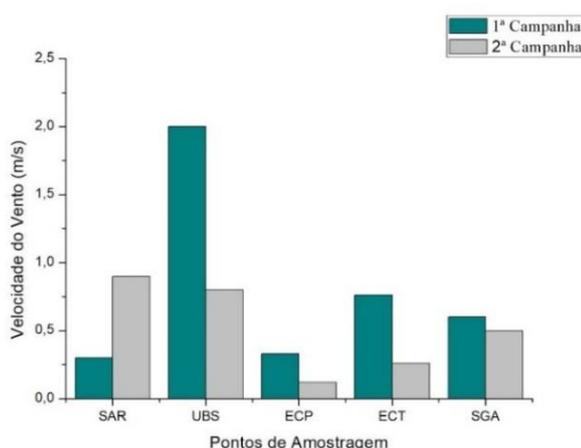
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados da Estação Meteorológica

A velocidade do vento nos cinco pontos de amostragem não seguiu um padrão entre as duas campanhas realizadas (Gráfico 1). Um dos motivos é o fato de que ambas campanhas foram realizadas em períodos semelhantes em termos de dinâmica do vento, além disso, os pontos de amostragem foram monitorados de forma pontual, cada ponto foi observado em um total de quatro dias, dois em cada campanha.

A diferença mais perceptível ocorreu no ponto UBS, onde na primeira campanha foram registrados ventos de 2 m/s, porém, na segunda, os ventos chegaram a atingir uma velocidade de apenas 0,8 m/s para o mesmo local. A velocidade do vento mais baixa dentre todos os pontos e todas as campanhas foi de 0,12 m/s, e aconteceu na segunda campanha no ponto ECP, mas em geral a velocidade dos ventos nesse ponto não variou muito de uma campanha para a outra. O mesmo aconteceu para o ponto SGA, onde o vento teve uma diferença de apenas 0,1 m/s entre os dois períodos de amostragem. O ponto SAR foi o único que apresentou um aumento significativo na velocidade do vento, registrando na primeira campanha 0,3 m/s e na segunda 0,9 m/s. Por fim, a ECT registrou um valor de 0,76 m/s na primeira campanha para o dado em questão, e teve uma diminuição de 0,5 m/s na velocidade dos ventos na segunda medição realizada, registrando o valor de 0,26 m/s.

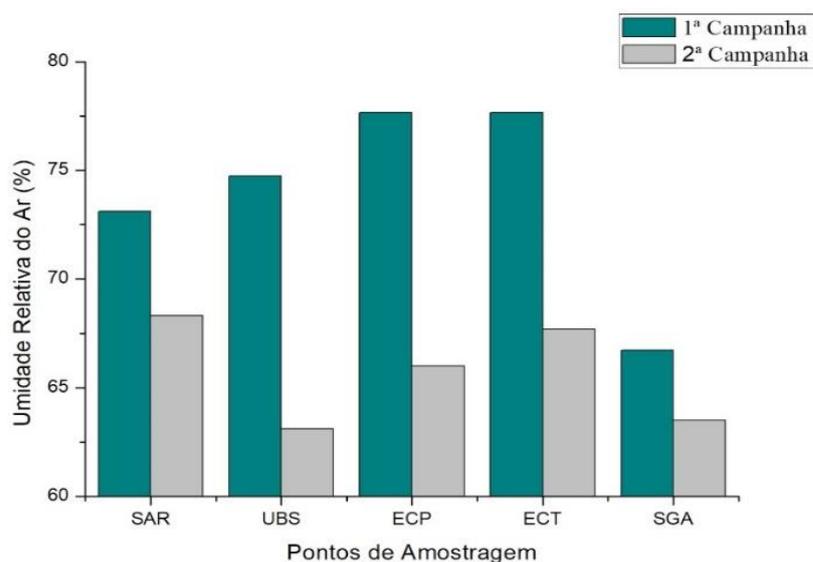
Gráfico 1 - Velocidades médias do vento nos pontos de amostragem do estudo



Fonte: a autora

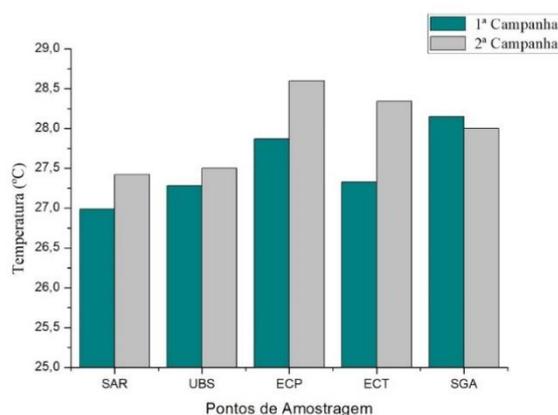
Diferente do comportamento da velocidade dos ventos, a umidade relativa do ar apresentou um padrão quando comparamos a primeira e a segunda campanha (Gráfico 2). Em todos os pontos foi registrada uma diminuição em relação a esse parâmetro. Na primeira campanha o ponto ECP e ECT tiveram a mesma umidade relativa do ar, 77,67%, que inclusive foi a maior registrada dentre as duas campanhas. Já a menor umidade relativa do ar, 63,1%, foi observada no ponto UBS na segunda campanha.

Gráfico 2 - Umidade Relativa do Ar registrada nos pontos de amostragem



Fonte: a autora

A temperatura do ar foi outro parâmetro que pouco variou dentre os períodos em que a pesquisa foi realizada. A maioria dos pontos teve um discreto aumento em torno de 0,5 °C e 1 °C na temperatura registrada. O ponto SGA, por sua vez, obteve basicamente a mesma temperatura de uma campanha para a outra, 28,15 °C para 28 °C.

Gráfico 3 - Temperaturas médias para os pontos de amostragem da pesquisa

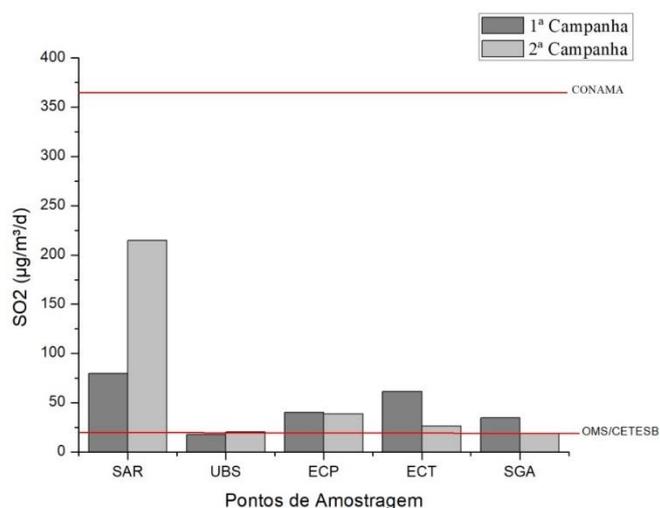
Fonte: a autora

5.2 Poluentes

5.2.1 SO₂

Os resultados obtidos para a concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO₂ em um período de 24 horas mostraram que todos os pontos de amostragem estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº03 de 1990 (Gráfico 4), ou seja, estão abaixo de 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por dia. Entretanto, se levarmos em consideração o parâmetro estabelecido pela OMS, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO₂ por dia, apenas o ponto UBS registrou uma concentração dentro da recomendação da OMS. O ponto SGA também atingiu o valor orientado pela OMS, porém, somente na segunda campanha.

Gráfico 4 - Valores das concentrações de SO₂ para as duas campanhas



Fonte: a autora

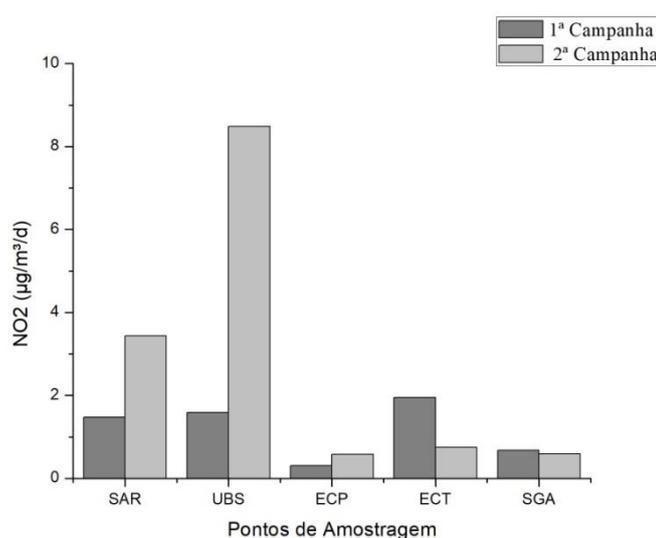
O ponto SAR foi o que teve as mais altas concentrações de SO₂ quando comparado a todos os outros pontos. Esse local fica bem próximo à CE-421, logo, existe a possibilidade de que esse poluente esteja mais concentrado nesse ponto devido ao fluxo de carros e caminhões nesta rodovia. Além disso, os moradores relataram que queimadas são constantes na região, e são realizadas principalmente com o intuito de dar uma destinação final aos resíduos sólidos. Na segunda campanha, especificamente, os residentes do sítio afirmaram que ocorreu uma queimada no terreno vizinho logo após os equipamentos terem sido instalados (informações adquiridas em conversas informais com os moradores da região).

5.2.2 NO₂

Os valores das concentrações de NO₂ em um período de 24 horas apresentaram-se relativamente baixos, com a concentração mínima, 0,31 µg/m³, sendo registrada no ponto ECT na primeira campanha, e a concentração máxima, 8,5 µg/m, no ponto UBS na segunda campanha (Gráfico 6). Em relação aos limites estabelecidos pela legislação, a Resolução CONAMA nº03 estabelece que a concentração média de uma hora para NO₂ pode ser de até

320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, padrão primário, e até 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, padrão secundário. Dessa forma, as concentrações de NO_2 obtidas nos pontos de amostragem do estudo encontraram-se muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, e até mesmo pelos limites máximos dos órgãos internacionais.

Gráfico 5 - Valores das concentrações de NO_2 para as duas campanhas



Fonte: a autora

É importante ressaltar que, segundo Menezes Neto; Costa; Ramalho (2009), o estado do Ceará apresenta os maiores índices de radiação solar incidente durante o segundo semestre, e o mês de outubro é aquele com o maior valor para esse índice (260 W/m^2). Esse dado é relevante para o estudo pois a ocorrência de intensa radiação solar, aliada ao fato da área de estudo se localizar em região litorânea, influencia a dispersão do poluente, ou seja, as condições são favoráveis para que o mesmo se disperse mais rápido (CORREIA, 2011). Além disso, o NO_2 está relacionado com muitas reações fotoquímicas, e sua emissão direta para a atmosfera é considerada baixa (UGUCIONE; GOMES; CARDOSO, 2002).

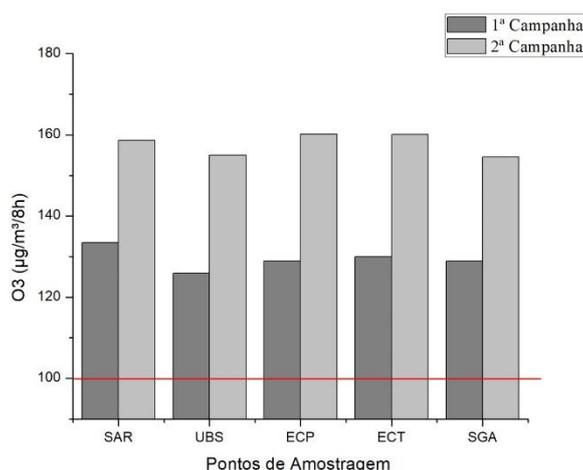
5.2.3 O₃

As concentrações de O₃, para um intervalo de 8 horas, apresentaram um aumento da primeira para a segunda campanha em todos os pontos de amostragem. Adiante, é importante lembrar que para comparar os valores desse poluente para o presente trabalho com os valores recomendados pela OMS foi feita uma transformação da concentração obtida durante as 24 horas de amostragem para uma condição de amostragem hipotética de 8 horas. Esse cálculo porém, pode desconsiderar picos de altas concentrações desse poluente.

O menor valor registrado, 126 µg/m³, foi no ponto UBS na primeira campanha. Já a maior concentração de O₃ ocorreu nos pontos ECP e ECT, ambos registraram uma concentração de 160 µg/m³. Todos os valores obtidos durante as amostragens do presente estudo ultrapassaram o valor de orientação da OMS e CETESB, que é de 100 µg/m³. A Resolução CONAMA nº03 não estabelece valores limites de concentração de O₃ para um tempo de amostragem de 8 horas, mas sim para um tempo de 1 hora, esse é valor é de 160 µg/m³.

É relevante ressaltar a conexão que o O₃ tem com o NO₂, uma vez que o segundo está relacionado com a produção e regulação do primeiro na atmosfera (UGUICIONE; GOMES; CARDOSO, 2002). Além do NO₂, o ozônio tem outros precursores como os demais óxidos de nitrogênio e os COV's (SILVA; MENDES, 2006).

Gráfico 6 - Valores das concentrações de O₃ para as duas campanhas



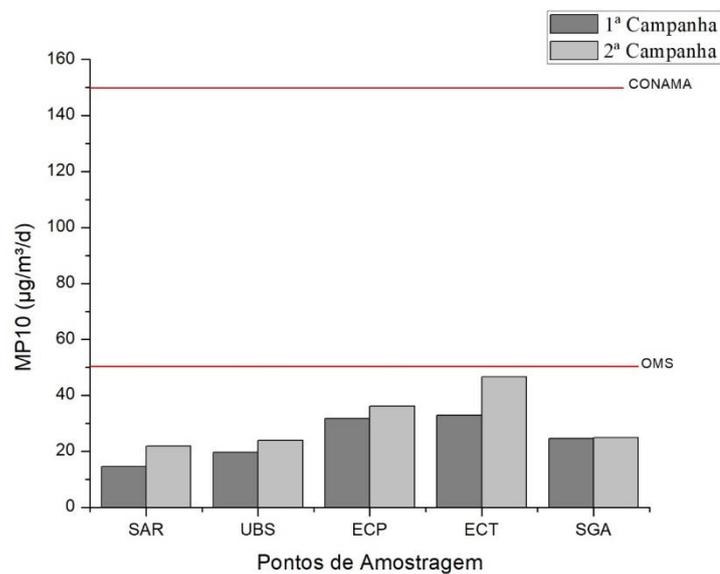
Fonte: autora

5.2.4 MP₁₀

Em geral as concentrações de MP₁₀ variaram entre 46,6 µg/m³, valor obtido na segunda campanha para o ponto ECT, e 14 µg/m³, valor obtido na primeira campanha para o ponto SAR. Todos os locais apresentaram um aumento do MP₁₀ na segunda campanha, sendo esse aumento mais expressivo no ponto ECT, e menos expressivo no ponto SGA, que teve praticamente a mesma concentração (24,5 e 25 µg/m³). As concentrações em todos os pontos da pesquisa ficaram abaixo tanto dos valores limites da OMS, quanto dos valores permitidos pela legislação brasileira.

Comparando os valores obtidos no presente trabalho com os valores do estuo de Melo Neto (2012), realizado no município de Jaboatão dos Guararapes/PE, pode-se observar que existe uma similaridade em termos de cumprimento dos padrões estabelecidos, uma vez que a média deste estudo foi de 43,73 µg/m³.

Gráfico 7 - Valores das concentrações de MP₁₀ para as duas campanhas



Fonte: a autora

5.3 Correlação entre dados meteorológicos e poluentes

Em estudos que possuem duas ou mais variáveis é frequente o interesse dos pesquisadores em investigar se as mesmas se relacionam entre si, e a medida que pode responder esse questionamento é denominada coeficiente de correlação (LIRA; CHAVES NETO, 2004 *apud* GUILFORD, 1950). Logo, em resposta a um dos objetivos específicos desse trabalho, foram realizados testes não paramétricos, com o auxílio do software *Statistica*. O coeficiente de correlação Spearman, que tem uma confiabilidade de 95%, foi utilizado com o intuito de entender a relação entre as variáveis utilizadas no presente trabalho. Os resultados desse teste estão apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 4 - Coeficiente de Spearman para as variáveis utilizadas no trabalho

	SO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,000	0,090	0,176	-0,066
NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,090	1,000	0,048	-0,466
O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,176	0,048	1,000	0,419
MP10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0,066	-0,466	0,419	1,000
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	-0,248	-0,587	0,504	0,757
Umidade Relativa do Ar (%)	0,437	-0,024	-0,557	-0,072
Velocidade do vento (m/s)	-0,163	0,696	-0,468	-0,575
Pressão (mmHg) - INMET	0,176	0,145	-0,829	-0,510

Fonte: a autora

O teste mostrou que existe uma correlação entre a concentração de NO₂ e a velocidade do vento, a concentração de O₃ e a pressão atmosférica, e a concentração de material particulado e a temperatura. No entanto, a correlação entre O₃ e pressão atmosférica foi de caráter negativo, ou seja, os valores de O₃ são inversamente proporcionais aos valores da pressão atmosférica. Já as outras duas correlações foram de caráter positivo, logo, as variáveis são proporcionais entre si, então quando a velocidade dos ventos aumenta consequentemente a concentração de NO₂ também aumentará, por exemplo.

Um estudo realizado em oito estações de monitoramento do ar no estado do Espírito Santo mostrou que as concentrações de NO₂ e O₃ em alguns dos pontos monitorados eram influenciadas pelo transporte desses poluentes oriundos de outros locais, ou seja, as

concentrações dos poluentes sofriam influência da dinâmica do vento (MONTE; ALBUQUERQUE; REISEN, 2017). Sendo assim, é possível que as concentrações de NO₂ encontradas no presente trabalho tenham sido influenciadas pela dinâmica dos ventos da região, fazendo com que os poluentes oriundos de locais distantes fossem transportados até os pontos de amostragem. Apesar de os ventos serem responsáveis pela dispersão de poluentes atmosféricos, quanto maior a velocidade do vento maior será o movimento ao redor da fonte poluidora (ROSA, 2012), se a direção dos mesmos for em geral constante, um mesmo local será exposto constantemente a elevados graus de poluição, por outro lado, se a direção do vento mudar frequentemente os compostos serão dispersos em um raio maior, logo, as concentrações nessa região serão menores (LIU; LIPTAK, 1999).

Assim como no presente estudo, Li, *et al* (2012) constatou que nas cidades de Beijing na China e Brisbane na Austrália a correlação entre temperatura e MP₁₀ foram positivas, o que demonstra a importância de evitar a emissão de material particulado em dias com altas temperaturas. Outro estudo, esse realizado em Salvador tendo sua área de estudo canteiros de construção, encontrou uma influência baixa entre temperatura e concentração de material particulado (ARAÚJO; COSTA; MORAIS, 2014).

5.4 IQA

Após a determinação das concentrações dos poluentes, o cálculo do IQA foi realizado para os cinco pontos de amostragem. Os valores desse cálculo para a primeira e segunda campanha encontram-se respectivamente nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - IQA na primeira campanha para os pontos amostrados

Local (1ª Campanha)	SO₂	NO₂	O₃	MP₁₀	IQA
SAR	85	0,012	85	12	RUIM
UBS	36	0,012	75	16	MODERADA
ECP	39	0,003	79	25	MODERADA
ECT	84	0,016	80	26	MODERADA
SGA	69	0,006	79	20	MODERADA

Fonte: a autora

Tabela 6 - IQA na segunda campanha para os pontos amostrados

Local (2ª Campanha)	SO ₂	NO ₂	O ₃	MP ₁₀	IQA
SAR	102	0,03	118	17	MUITO RUIM
UBS	40	0,07	113	19	RUIM
ECP	55	0,005	120	29	RUIM
ECT	46	0,006	120	37	RUIM
SGA	38,2	0,005	113	20	RUIM

Fonte: a autora

O poluente que influenciou diretamente a classificação final da qualidade do ar para o ponto SAR foi o SO₂, pois nas duas campanhas ele teve uma grande concentração nesse ponto.

Já para os demais pontos o poluente que determinou a classificação do IQA foi o ozônio, pois o mesmo se apresentou ultrapassou os limites estabelecidos pela CETESB e OMS, o que fez com que o índice tivesse uma classificação mais baixa, mesmo com concentrações mais adequadas de NO₂ e MP₁₀.

Em relação ao material particulado, uma pesquisa realizada no município de Jaboatão dos Guararapes (PE), também realizada em duas campanhas, ambas no mês de setembro, teve como resultado para o IQA relativo ao MP₁₀ uma porcentagem de 16.7% dos dias monitorados com uma classificação moderada e 83.3% com uma classificação boa (MELO NETO, 2012). O presente trabalho, porém, teve todos os índices para MP₁₀ considerados com uma qualidade de ar boa. Por fim, a classificação do IQA para NO₂ também foi considerada 100% boa, pois o composto ficou bem abaixo dos limites máximos dos órgãos ambientais, como citado anteriormente.

Os baixos índices de qualidade do ar preocupam pois, no período de outubro de 2011 a setembro de 2013, foram registrados em torno de 2,7 milhões de hospitalizações causadas por doenças respiratórias no Brasil, os gastos com esse tipo de quadro clínico foi em torno de 2,5 bilhões de reais (DAVID; RIZOL; NASCIMENTO, 2017). Sendo assim, é perceptível a necessidade de um acompanhamento minucioso de programas de controle contínuo de poluentes atmosféricos e seus efeitos sobre a saúde das pessoas, como forma de promover políticas públicas que melhorem a qualidade de vida da população (CANÇADO, *et al.*, 2006).

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos nessa pesquisa, conclui-se que no período em que o estudo foi realizado, quatro pontos da primeira campanha apresentavam-se com a qualidade do ar moderada e um obteve um IQA ruim. Já na segunda campanha os valores dos índices pioraram, sendo um ponto considerado muito ruim, e os outros classificados como ruim. Isso significa que as pessoas que residem nesse local podem estar expostas a diversos riscos à saúde. É importante destacar que dentre os cinco pontos de amostragem, três eram escolas, logo, locais com presença de crianças, e como citado anteriormente, essas se apresentam como um dos grupos sensíveis aos efeitos nocivos da poluição atmosférica.

O estudo foi pioneiro em avaliar a qualidade do ar da região do Pecém por meio do IQA, uma vez que os únicos registros públicos sobre os parâmetros monitorados na região são oriundos apenas da SEMACE, e os mesmos ainda encontram-se em fase de teste em termos de divulgação no site do órgão ambiental. Entretanto, para estabelecer uma melhor relação entre os dados meteorológicos e as concentrações dos poluentes é preciso que um maior número de amostras seja coletado.

Espera-se que IQA calculado no presente trabalho seja uma ferramenta que irá ajudar a população local a entender e se interessar sobre a qualidade do ar da região. Todavia, os resultados obtidos neste estudo foram apenas de caráter pontual, assim, faz-se necessário que esse tipo de trabalho continue sendo realizado para que o monitoramento dos poluentes atmosféricos presentes na região se dê de forma contínua.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, S.K. **Air Pollution**. New Delhi. A P H Publishing Corporation.2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília. 2005. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/carvao_mineral/8_5.htm>. Acesso em: 03 jul. 2017.

ALBUQUERQUE, M. F. C. **Zona Costeira do Pecém: de Colônia de Pescador à Região Portuária**. 2005. Dissertação - Universidade Estadual do Ceará. 2005. Disponível em: <http://uece.br/mag/dmdocuments/flavia_albuquerque_dissertacao.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

ALMEIDA, H. A. **Climatologia Aplicada à Geografia**. 1ª. ed. Campina Grande, PB: EDUEPB. 2016.

ANDRÉ, I. R. N. e ZAVATINI, J.A. **Ozônio e dinâmica atmosférica: uma análise geográfica**. In: Lucia Helena de Oliveira Gerardi; Iandara Alves Mendes. (Org.). Do Natural, do Social e de suas Interações: visões geográficas. 1 ed. Rio Claro: Programa de Pós-graduação em Geografia - UNESP. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/geografia/pos/downloads/2002/ozonio.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2017.

ARAÚJO, I. P. S; COSTA; MORAIS, R. J. B. Identification and Characterization of Particulate Matter Concentrations at Construction Jobsites. **Sustainability**. Switzerland, v. 6. 2014. Disponível em: < 10.3390/su6117666> Acesso em: 20 nov. 2017.

ARAÚJO, R.C.P.; FREITAS, K. S.; ALBUQUERQUE, R.L. **Impactos socioeconômicos do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) sobre os pescadores artesanais, São Gonçalo do Amarante-CE**. In: SOBER - XLVII CONGRESSO Desenvolvimento Rural e Sistemas Agroalimentares: os agronegócios no contexto da integração das nações. 2009. Porto Alegre. ANAIS DA SOBER - XLVII CONGRESSO ANO 2009. Porto Alegre: SOBER, 2009. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/260.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia dos trópicos**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2010. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos.

AZENHA, C; PEQUENO, L. R. B. O Porto do Pecém – CE e as suas relações com o Brasil: Definição de uma Hinterlândia. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro, v. 29, p. 44-62, 2016. Disponível

em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/viewFile/15969/19558>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília. 2008. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/tapajos/Macro/01_introducao.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2017.

BRASIL. Resolução CIRM N° 01, de 21 de novembro de 1990. Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). **CIRM - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80033/PNGC_I.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº03, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR**. Brasília, 22 ago. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

CANÇADO; BRAGA; PERREIRA; ARBEX; SALDIVA; SANTOS. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. Brasília, v. 32. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v32s2/a02v32s2.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

CARDOSO, A.A.; FRANCO, A. Algumas Reações do Enxofre de Importância Ambiental. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 15. 2002. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a08.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Dióxido de Enxofre**. São Paulo. 2014. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/dioxido_de_enxofre.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade do Ar**. São Paulo. 2011. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp>. Acesso em: 12 jul. 2017.

CORREIA, J. G. A. Estudo Preliminar de NO₂ na Atmosfera da Cidade de João Pessoa, PB, Brasil. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/7112/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

DAVID; RIZOL; NASCIMENTO. Modelos Computacionais Fuzzy para Avaliar Efeitos da Poluição do Ar em Crianças. **Revista Paulista de Pediatria**. São Paulo. 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/1984-0462/;2018;36;1;00013>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

DIAS, A. A. C; ANDRADE NETO, A. V; MILITÃO, M. S. R. A Atmosfera Terrestre: Composição e Estrutura. **Caderno de Física da Uefs 05**. Feira de Santana. 2007. Disponível em: <<http://dfis.uefs.br/caderno/vol5n12/Atmosfera.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.

DIAS, J. W. C. **APV Trigás: Manual de Operação**. Energética Qualidade do Ar. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://www.energetica.ind.br/wp/env1/wp-content/uploads/2016/01/env1_manual-trigas-rev_11.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.

ENERGIAS DE PORTUGAL. **Carvão Mineral**. 2014. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/ceara/energia-pecem/A-Usina/Paginas/Usina.aspx>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

FARIAS, F. M. C. **Mecanismo de reações**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_mecanismos_das_reacoes.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

FARIAS, L. M; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**. Novo Hamburgo, v. 12, n.17. 2011. Disponível em:< [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2017.

GOMES, D; S.; F. B.; MARIANO, M. N.; VIANNA, R. C; GOMES, A; ARAÚJO, M. V. F; SOARES, R. R. **Monitoramento da qualidade do ar no campus Três Poços em termos de partículas totais em suspensão**. Cadernos UniFOA. Volta Redonda, v. 12. 2010. Disponível em: <<http://www.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/12/11.pdf>> Acesso: 26 jul. 2017.

GRUBER, N. L. S; BARBOZA, E, G; NICOLODI, J, L. Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para. Gestão Integrada da Zona Costeira. **Gravel**. Porto Alegre jan/2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/gravel/1/Gravel_1_07.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Gonçalo do Amarante**. 2007. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/sao-goncalo-do-amarante/panorama>>. Acessoem: 26 jul. 2017.

JACOBSON, M. Z. **Atmospheric Pollution: history, science, and regulation**. Cambridge. University Press. 2002.

JURAS, I. A. G. M. **Os Impactos da Indústria no Meio Ambiente**. Câmara dos Deputados. Brasília. 2015. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema14/impactos-da-industria-no-meio-ambiente_ilidia-juras_politicas-setoriais>. Acessoem: 10 jul. 2017.

KIELY, G. **Environmental Engineering**. Boston. Irwin/McGraw-Hill.1996.

LEAL, G. C. S. G; FARIAS, M. S. S; ARAÚJO, A. F. O Processo De Industrialização e seus Impactos no Meio Ambiente Urbano. **QUALIT@S Revista Eletrônica**. Paraíba, v.7, n.1. 2008

Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT2004201302831.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

LIMA, E. Energia Pecém inaugura escola que doou para Comunidade da Taíba. Ceará. 2011. Disponível em: <<http://blogdoeliomar.com.br/energia-pecem-inaugura-escola-que-dou-para-comunidade-da-taiba/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

LIRA, S. A; CHAVES NETO, A. Pontos de dicotomização para a obtenção do coeficiente de correlação tetracórico. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. Vol. 7, n° 2. 2005.

Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/viewFile/212/269>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

LISBOA, H. M; KAWANO, M. **Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Montreal. 2007. Disponível em:

<<http://repositorio.asc.es.edu.br/jspui/bitstream/123456789/418/7/Cap%204%20Monitorament%20de%20poluentes%20atmosf%C3%A9ricos.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

LIU, D. H. F; LIPTAK, B. G. Environmental Engineers' Handbook, Second Edition. Florida. CRC Press. 1999.

LI, G; SUN, J; JAYASINGHE, R; PAN, X; ZHOU, M; WANG, X; CAI, Y; SADLER, R; SHWA, G. Temperature Modifies the Effects of Particulate Matter on Non-Accidental Mortality: A Comparative Study of Beijing, China and Brisbane, Australia. **Scientific & Academic Publishing**. 2012. Disponível em: <[10.5923/j.phr.20120202.04](http://dx.doi.org/10.5923/j.phr.20120202.04)>. Acesso em: 28 nov. 2017.

LODGE JR. J. P. **Methods of Air Sampling and Analysis**. Nova Iorque. Lewis Publishers. 1988.

KOTZ, J. C; TREICHEL, P. M; WEAVER, G. C. **Química Geral e Reações Químicas 2**. Boston. Cengage Learning. 2009.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG**. Dissertação Mestrado em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Minas Gerais. 2005. Disponível em:

<http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2222/3/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EstudoMaterialParticulado.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2017.

MARQUES, M. N. **Cromatografia de Íons Aplicada na Especificação de Crômio Hexavalente em Amostras de Interesse Ambiental**. Dissertação Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações. São Paulo. 1999. Disponível em:

<http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Maria%20Nogueira%20Marques_M.pdf>.

Acesso em: 20 out. 2017.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development: a report to the Balaton Group**. The Sustainability Institute, 1998.

Disponível em: < https://www.iisd.org/pdf/s_ind_2.pdf. Acesso em: 20 nov. 2017.

MELO NETO, R. P. **Diagnóstico ambiental sobre o material particulado em suspensão no entorno de pedreira: um estudo de caso em Jaboatão dos Guararapes/PE**. Dissertação Mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2012.

Disponível em:

<<http://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/11734/R%C3%BAtilo%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

MONTE, E. Z; ALBUQUERQUE, T. T. A; REISEN, V. A. Inter-relações entre as concentrações de ozônio e de dióxido de nitrogênio na região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 22. 2017. Disponível em < 10.1590/S1413-41522017140796>. Acesso em: 25 nov. 2017.

MORAIS, L. M. F. A. **Expansão urbana e qualidade ambiental no litoral de João Pessoa-PB**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2009. Disponível em:

<http://www.geociencias.ufpb.br/posgrad/dissertacoes/lenygia_maria.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2017.

MOZETO, A. A. Química Atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Química Nova na Escola**. São Paulo. 2001. Disponível em:

<<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf>> Acesso em: 20 set. 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Ambient (outdoor) air quality and health**.

2016. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Quality Guidelines for Europe**. Copenhagen. 2000. Disponível em:

<http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf> Acesso em: 18 out. 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Pollution**. 2017. Disponível em:

<http://www.who.int/topics/air_pollution/en/>. Acesso em: 04 jul. 2017.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Environmental Indicators Development, Measurement and Use**. Organization for Economic Co-operation and Development, France, 2003. Disponível em:

<http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

- ORLANDO, J. P. **Estudo dos Precursores de Ozônio da Cidade de São Paulo Através de Simulação Computacional**. Dissertação (Mestrado em Ciências - Tecnologia Nuclear - Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. 2008. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Joao%20Paulo%20Orlando_M.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2017.
- PITTON, S. E. C. Prejuízos Ambientais do Consumo sob a Perspectiva Geográfica. In: CORTEZ, A. T. C; ORTIGOZA. S. A. G. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano**. São Paulo: Editora UNESP, 2009.
- ROCHA, C. A. **Índice de Qualidade Ambiental de Áreas Utilizadas para a Prática de Atividades Físicas e Lazer na Cidade de Fortaleza, CE**. Dissertação (Mestrado em em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/23894/3/2017_dis_carocha.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2017.
- ROCHA, C. A. **Pressão sonora, sensação térmica, poluição do ar e seus riscos associados como indicadores da qualidade ambiental em áreas usadas para esporte e lazer – Fortaleza, CE**. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso Bacharelado em Ciências Ambientais, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000017/0000177d.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- ROMIEU, I; WEITZENFELD, H; FINKELMAN, J. Urban Air Pollution in Latin America and the Caribbean. **Journal of the Air & Waste Management Association**. México, v. 41, n.9. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466910>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- ROSA, A. F. M. **Modelagem da Concentração de Dióxido de Enxofre na Região de Candiota-RS utilizando o modelo AERMOD**. Dissertação Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_AlessandraMartinsRosa.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- RUFINO, R. C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Santa Catarina (UFSC). 2002. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30364004.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- SANTANA, E; CUNHA. K. B; FERREIRA. A. L. **Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia**. Instituto de Energia e Meio Ambiente. São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://www.energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/09/padroes-final01.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- SILVA, F. M; CHAVES, M. F; LIMA, Z. M. C. **Geografia Física II**. EDUFRN. Natal. 2009.

SILVA, L. T; MENDES, J. F. G. Determinação do Índice de Qualidade do Ar numa Cidade de Média Dimensão. **Engenharia Civil**. Portugal, v. 27. 2006. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num27/n_27_pag_63-74.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2017.

SÃO PAULO. Decreto nº 59.113, de 23 de Abril de 2013. **Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas**. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>. Acesso em: 20 nov. 2017.

UGUCIONE, C; GOMES NETO, J. A; CARDOSO, A. A. Método colorimétrico para determinação de dióxido de nitrogênio atmosférico com preconcentração em coluna de c-18. **Química Nova**. São Paulo, v. 25, n.3. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000300003>. Acesso em: 22 out. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air Pollution: Current and Future Challenges**. 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/air-pollution-current-and-future-challenges>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Particulate Matter (PM) Pollution**. 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

VALE. **Diretor-presidente da Vale participa da celebração da Companhia Siderúrgica do Pecém, no Ceará**. 2017. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/diretor-presidente-vale-participa-inauguracao-companhia-siderurgica-pecem-ceara.aspx>>. Acesso em: 20 set. 2017.

VESILIND, P. A. e MORGAN, S. M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo. Cengage Learning, 2ªed, 2011.

WAI, W, T; SAN, W, T, W; SUN, W, T; HON, A, L, K; SHUN, A, W, H; NG, S, K, W; YEUNG, D; MING, W, C. **A Study of the Air Pollution Index Reporting System: Final Report**. The Chinese University of Hong Kong. Hong Kong. 2012. Disponível em: <http://www.aqhi.gov.hk/pdf/related_websites/APIreview_report.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

WORLD BANK GROUP. **Pollution Prevention and Abatement Handbook: Toward Cleaner Production**. Washington. 1999. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/758631468314701365/pdf/multi0page.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2017.