SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia

GABRIEL CRISTÓBAL VALENZUELA SAAVEDRA

POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA

GOIÂNIA

2018

sistema de bibliotecas ufg

PRPG
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

UFG

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[x] Dissertação** **[ ] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Gabriel Cristóbal Valenzuela Saavedra

Título do trabalho: POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [ ] NÃO[1]

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Ciente e de acordo: _____ Assinatura do(a) autor(a)[2]

_____
Assinatura do(a) orientador(a)[2]

Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros
Mat. SIAPE 1694829
IESA/UFG

Data: 20/04/2018

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão desteprazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período deembargo.
Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

[2] A assinatura deve ser escaneada.

Versão atualizada em setembro de 2017.

GABRIEL CRISTÓBAL VALENZUELA SAAVEDRA

POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia - Goiânia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Orientadora: Prof.ª Dr.ª Juliana Ramalho Barros

GOIÂNIA
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Valenzuela Saavedra, Gabriel Cristóbal
POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA [manuscrito] / Gabriel Cristóbal Valenzuela Saavedra. - 2018.
LXXXII, 82 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2018.
Bibliografia.
Inclui siglas, mapas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Poluição atmosférica . 2. Qualidade do ar. 3. Dispersão atmosférica. I. Ramalho Barros, Juliana , orient. II. Título.

CDU 628

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NATUREZA E PRODUÇÃO DO ESPAÇO

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DE

GABRIEL CRISTOBÁL VALENZUELA SAAVEDRA

Aos vinte e oito dias do mês de março do ano de dois mil e dezoito (2018), a partir das 14:00 h, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Dissertação de Mestrado de João Carlos de Lima Neto, intitulada: **"Poluição e qualidade do ar, modelagem ambiental da dispersão dos poluentes de fonte fixa".** A banca examinadora foi composta, conforme Portaria n.º 08/2018 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: **Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros** (Presidente), **Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza** (membro titular externo) e **Profa. Dra. Nicali Bleyer Ferreira dos Santos** (membro titular externo). Os examinadores arguiram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 16:25 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo a candidata obtida os seguintes resultados:

Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros (Presidente) – Ass. JRBarros.

Aprovado (X) Reprovado ( )

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza – Ass. _____

Aprovado (X) Reprovado ( )

Profa. Dra. Nicali Bleyer Ferreira dos Santos – Ass. Nicali B F Santos

Aprovado (X) Reprovado ( )

Resultado final: Aprovado (X) Reprovado ( )

Houve alteração no Título? Sim ( ) Não (X)

Em caso afirmativo, especifique o novo título:

_____

_____

Outras observações: Condicionada às seguintes correções: normas ABNT, revisão textual, refazer/padronizar figuras (recorte espacial e escala), detalhar metodologia e resultados.

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Secretaria.....

Geog. Me. Ivonaldo Ferreira Duarte
Mat. SIAPE-UFG 1317863
CREA 16069/D-GO

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo encontrar o caminho metodológico para modelar a dispersão de poluentes atmosféricos provenientes de fontes de emissão fixa, através de materiais baratos e simples. O percurso instou da revisão teórica e dos principais conceitos da poluição e qualidade do ar para saber quais são os fatores que determinam áreas vulneráveis à poluição atmosférica. Usou-se uma fonte de emissão atmosférica fixa de uma indústria alimentar para mostrar um analises do que seria um estudo de impacto das emissões produto da operação normal da fábrica para o ano 2012, sem a intenção de avaliar a indústria, mas para mostrar como se aplica o modelo de dispersão em casos práticos. Dessa forma, disponibilizar uma metodologia que possa ser usada em estudos que ajudem a tomar decisões de planejamento para a colocação de novas fontes de emissão ou a alteração das antigas. Como resultado, se consegue imagens onde é facilmente reconhecível a área de susceptibilidade das emissões provenientes da fonte fixa, as quais são interpretadas para esclarecer o que poderia acontecer frente aos diversos cenários possíveis.

Palavras-chave: Poluição do ar, qualidade do ar, dispersão de poluentes atmosféricos

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad encontrar un camino metodológico para modelar la dispersión de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes de emisión fija, a través de materiales baratos y simples. El camino insto de la revisión teórica de los principales conceptos de la contaminación atmosférica y la calidad del aire, así conocer cuales factores determinan áreas vulnerables a la contaminación atmosférica. Se usó una fuente de emisión fija de una industria alimentaria para mostrar un análisis de lo que sería un estudio de impacto ambiental de las emisiones producto de la operación normal de la fábrica para el año 2012, sin la intención de evaluar, si no, para mostrar cómo se aplica el modelo en un caso práctico. De esta forma, colocar en disposición una metodología que pueda ser usada en estudios que ayuden a la toma de decisión para la planificación en la introducción de nuevas fuentes de emisión o la alteración de las antiguas. Como resultado, se consiguen imágenes donde es fácilmente reconocible el área de susceptibilidad de las emisiones provenientes de la fuente fija, las que son interpretadas para aclarar que podría pasar frente a los diversos escenarios posibles.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, calidad del aire, dispersión de contaminantes atmosféricos.

Sumário

INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS 9

PARTE I 14

MARCO TEÓRICO E CONCEPTUAL DA POLUIÇÃO DO AR 14

1.1. Meteorologia da poluição na troposfera - Fatores físicos 14

1.1.1. Dinâmica dos poluentes: 14

1.1.2. Dinâmica da troposfera 17

1.1.2.1. Qualidade do ar 17

1.1.2.2. Movimento do ar e transporte de poluentes na atmosfera 19

1.2. Aspectos socioambientais da poluição na troposfera 24

PARTE II 27

POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA 27

2.1. Localização e caracterização da área de estudo 27

2.1.1. Clima e meteorologia 32

2.1.2. Relevo 37

2.1.3. Legislação 38

2.2. Metodologia: modelamento de dispersão de poluentes atmosféricos de fonte fixa 46

2.2.1. Modelo de dispersão gaussiana 48

2.3. Procedimentos Operacionais 50

2.3.1. Integração das imagens para definir uma área de alcance suscetível à dispersão do ano 2012 54

2.4. Resultados 59

2.4.1. Modelagem dos dados anual 59

2.4.2. Modelagem dos dados sazonal 65

2.5. Considerações finais e discussão 73

3. Referências bibliográficas 76

INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Ao longo do período antropoceno, os seres humanos tiveram que suportar a poluição do ar, desde o descobrimento do fogo, até nos processos industriais modernos. Além das epidemias, catástrofes e guerras, no decorrer do tempo, a população mundial tem aumentado, por consequente, intensificou-se a produção de mercadorias, pelo que a energia constitui um papel fundamental. A poluição atmosférica pode ser um problema ligado ao desenvolvimento econômico. Nos últimos tempos, pelas tecnologias atuais, o uso do petróleo, o gás e a eletricidade tem se intensificado e trouxe o aumento da poluição atmosférica. Na atualidade, o CO2 presente na atmosfera está no seu pico histórico após o início das medições (NOAA, 2017).

Segundo dados da “World Health Organization” (WHO), três milhões de mortes são atribuíveis a ambientes com ar poluído em 2012. Além disso, 93% da população mundial mora em lugares onde os níveis de poluição ficaram sobre o nível padrão da WHO, segundo a modelagem feita com dados de 2014 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016).

Os poluentes provêm das atividades na troposfera, produzindo distintas estruturas químicas de poluentes, os quais são transportados e dispersas pelo ar, entrando na dinâmica atmosférica. Nesse sentido, não se deve apenas observar a atmosfera para compreender o problema, mas também qual espaço e dinâmica gera e/ou apresenta problemas de poluição do ar.

Vários autores indicam que nas cidades a qualidade do ar, em certa medida, é condicionada pelas características socioambientais, como o clima, relevo, e as atividades econômicas ligadas à cidade (MILLER, 2007; BRAGA et al.,2005; DAVIS e CORNWELL, 2008). Por conseguinte, quando a natureza geográfica de uma cidade é favorável para a depuração do ar, dificilmente vai apresentar episódios críticos de qualidade do ar. Quando não, é preciso ter atenção nos fatores determinantes dos problemas de poluição e ativar mecanismos para garantir a resiliência do ar.

A geografia física de uma localidade pode determinar a qualidade de ar de um assentamento urbano. Por exemplo, a geomorfologia e o clima de uma cidade podem condicionar a resiliência do subsistema físico-químico do sistema de clima urbano: a qualidade do ar (MONTEIRO, 2009). Um exemplo é o caso do Santiago, no Chile,

cidade que no inverno é suscetível a episódios de camada de inversão térmica, que junto com as emissões atmosféricas cotidianas, favorecem a concentração de partículas no ar e a sua acumulação na troposfera a nível da superfície (GARREAUD E RUTLLANT, 2006).

A poluição do ar representa um risco para a saúde da população, sua diminuição pode reduzir a morbidade atribuível a acidentes vasculares cerebrais, câncer de pulmão e pneumonia crônicas e agudas (WORLD HEATLH ORGANIZATION, 2014). Para garantir uma qualidade do ar aceitável, existem diversos instrumentos de gestão, que são formalizados legislativamente pelos governos responsáveis. As leis que regulam as emissões à atmosfera, podem considerar: padrões de qualidade, inventários das emissões, tecnologias para evitar poluir, sistemas de informação, planejamento territorial, modelamentos das emissões, fiscalização, punição e monitoramentos (IEMA, 2014). Nesse caso, é importante destacar que são os legisladores que fazem efetiva a gestão da qualidade do ar.

Como conhecer a qualidade de ar de uma cidade? Para conseguir mensurar a qualidade do ar, usam-se monitoramentos ambientais junto com limites de concentrações (em µg/m3 ou ppm).

No Brasil, promove-se o “Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar” (PRONAR), cujo fim é implementar ações de gestão para a prevenção, incluindo monitoramentos ambientais e inventários de emissões. Dentro dos instrumentos de gestão do PRONAR, Goiás tem subscrito o monitoramento. Infelizmente, os dados amostrados não foram representativos temporal nem espacialmente e foram descartados, deixando Goiânia sem valores referenciais de qualidade do ar no ‘Primeiro diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil’ (IEMA, 2014*).*

Os monitoramentos são quantificados em concentrações de MP10 e MP2,5 mensuradas em µg/m3(Microgramas por metro cúbico). Os números 10 e 2,5 correspondem ao tamanho das partículas, inaláveis e/ou respiráveis, expressado em micrômetros (1×10^{-6} metros) (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Segundo o informe da qualidade do ar nas cidades (WHO, 2016), Curitiba apresenta 24 $\mu g/m^3$ de MP10 médios anuais, São Paulo 35µg/m3 e Rio de Janeiro 49 $\mu g/m^3$. Excetuando Curitiba, os valores ficam muito longe do padrão WHO (20 $\mu g/m^3$ de MP10). No primeiro e último diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil (2014), das 45 cidades monitoradas, apenas três cidades do brasil

superam o padrão de qualidade nacional quanto a MP_{10}. Por outro lado, 40 dessas cidades estão acima do padrão de qualidade da OMS, o que indica a necessidade de analisar o padrão de qualidade nacional. Das 45 localidades monitoradas no Brasil, 40 estão acima o padrão estabelecido pela WHO

Em Goiás, apenas Anápolis e Goiânia contam com registros mensurados da qualidade do ar, aliás, não tenham monitorado o parâmetro considerado padrão pelos organismos internacionais: MP10 ou MP2,5. Os registros que têm são “Material particulado total em suspensão” (PTS). PTS representa um tamanho consideravelmente maior a MP10. As partículas iguais ou menores a 10μm são consideradas como inaláveis, entretanto, MP2,5 é considerado como partículas respiráveis. Eis a razão para considerar MP10 e MP2,5 os parâmetros ideais para diagnosticar a qualidade do ar nas áreas urbanizadas. Esses parâmetros correspondem a partículas de tamanhos microscópicos, aptos para penetrar profundamente no sistema respiratório, perdurar no ambiente, maiores períodos de tempo e percorrer maior distância no espaço do que as partículas maiores (como as PTS) (MILLER, 2007).

Analisando sob uma perspectiva socioambiental, pode-se considerar que o sistema econômico predominante tende a concentrar e expandir a produção, e, consequentemente, as emissões à atmosfera. Segundo Marx apud Harvey (2001, p. 50), “a revolução nos meios de produção da indústria e da agricultura tornaram necessária a revolução [...] nos meios de comunicação e transporte”. A produção e suas redes são parte importante da problemática atmosférica. Esses meios têm usado energia por combustível fóssil por muito tempo, desde o começo, ou antes, da revolução industrial, assim, as indústrias, em certa medida, são responsáveis pela qualidade de ar, pelo menos, do ambiente próximo onde realizam suas atividades.

A proliferação econômica da mão da urbanização e da industrialização, em certa medida, também determinam os possíveis problemas de poluição do ar. O grande tamanho das frotas veicular faz necessária uma análise da poluição nas cidades, considerando aos veículos automotores com uma das principais fontes de poluição do ar nelas (VESILIND E MORGAN, 2011; DAVIS e CORNWELL, 2008, SIMIONI, 2003). Deste modo, no ano de 2015 Goiânia apresentou o maior índice de habitantes por veículo: 1,23 habitantes por veículo. Atualmente lidera os rankings das cidades com maior frota veicular do Brasil (DENATRAN, 2016).

O cerrado é caracterizado por invernos secos. Segundo Walter (2006), as estações seca e chuvosa são bem definidas, e resulta em um período de abril a setembro de seca. Considerando que a escassez de umidade pode ser um estado agravante da qualidade do ar, talvez esse período seja suscetível a acumular material particulado. Goiânia possui um período seco de 6 meses, uma densidade veicular grande, e um nível de industrialização desenvolvido e em crescimento, entretanto, o monitoramento atual não apresenta informações suficientes para um diagnóstico certeiro. Pelo que é preciso aportar na discussão da gestão e o estado da qualidade do ar em Goiânia.

O funcionamento das cidades deve ser um tanto caótico para manter o seu avanço e prosperidade. Esse funcionamento, além dos benefícios, gera, necessariamente, uma série de problemáticas urbanas. O tema central deste trabalho é a poluição e a qualidade do ar, colocando ênfases em uma das ferramentas para a gestão desta problemática: a modelagem da dispersão dos poluentes. A modelagem dos poluentes é uma maneira simples, rápida e econômica para conhecer como se comportam as emissões provenientes de diversas fontes. Resulta interessante para conhecer situações de risco que se possam produzir na proximidade das fontes. Isto pode ser útil para a tomada de decisão em matéria de planejamento territorial, qualidade ambiental e saúde pública.

Usou-se como estudo de caso uma importante empresa transnacional de diversos produtos, concentrando sua operação em Goiânia na produção dos alimentos processados. Para tanto, esta pesquisa usa o modelo de dispersão gaussiano como metodologia principal. A modelagem é aplicada nas chaminés da indústria alimentar localizada em Goiânia, para as emissões produzidas no ano 2012. De modo que, o recorte espacial será determinado pelo alcance de tais emissões segundo o resultado da modelagem.

Para compreender melhor a dinâmica do transporte dos poluentes na atmosfera, é preciso fazer uma revisão científica dos fenômenos que explicam por que há espaços susceptíveis à poluição do ar, por conseguinte, inclui-se uma análise dos fatores que influem na acumulação nociva de poluentes em determinado espaço.

Como resultado desta pesquisa, conseguiu-se cartografar o comportamento da dispersão e transporte dos poluentes procedentes da fonte de emissão, de tal forma, identificar qual é a área de influência e quais são as áreas vulneráveis a concentrações

nocivas, por outro lado, ter relacionado os fatores que determinam a presença e acumulação de poluentes.

Objetivo geral

Dentro da problemática urbana encontra-se a poluição atmosférica. Em consequência a qualidade do ar em determinados espaços pode apresentar riscos para a saúde. Reconhecida a problemática, busca-se evitar qualquer dano à saúde ambiental e se estabelecem leis para fortalecer o atuar em esta matéria, junto com ações e normas de conduta. Uma reconhecida ferramenta para o controle da poluição atmosférica é a modelagem da dispersão de fontes de emissão fixas, muito útil quando usada nos licenciamentos para planificar a colocação das fontes. O objetivo principal da dissertação foi de usar, exibir e disponibilizar um modelamento da dispersão de poluentes provenientes de fontes fixas, através de materiais baratos, para acompanhar estudos que possam ajudar na toma de decisão.

Objetivos específicos propostos foram:

- Modelar a dispersão de uma fonte de emissão atmosférica fixa, apresentado em cartografias.
- Efetuar um levantamento bibliográfico da problemática atmosférica no âmbito cientifico e no âmbito jurídico.
- Identificar os fatores que tornam susceptíveis os espaços à poluição atmosférica em termos gerais.

PARTE I

MARCO TEÓRICO E CONCEPTUAL DA POLUIÇÃO DO AR

1.1. Meteorologia da poluição na troposfera - Fatores físicos

1.1.1. Dinâmica dos poluentes:

O intercâmbio de matéria entre a litosfera, a hidrosfera e a atmosfera é um fator natural. Esse intercâmbio é explicado pelos ciclos biogeoquímicos. Quando o intercâmbio de matéria causa desequilíbrio no ambiente, estamos em presença da poluição. Tal desequilíbrio vai significar impactos negativos nos seres vivos e seu meio ou habitat. Os danos podem, também, de parâmetros físicos, como, por exemplo o calor, som ou luz (BRAGA et al, 2005).

Excetuando os problemas de efeito estufa e depleção de ozônio, todos os problemas de poluição atmosférica acontecem na troposfera. Os poluentes são emitidos de diversas fontes, tanto naturais como antropogênicas. As de origens naturais incluem o pó removido pelos ventos da superfície da terra, queimadas e incêndios florestais, erupções vulcânicas, substâncias químicas orgânicas voláteis liberadas por algumas plantas e decomposição de vegetais (MILLER, 2007).

A maioria das emissões são de responsabilidade humana. As fontes de emissão antropogênicas podem se classificar por fontes estacionárias (ou fixas), que correspondem a qualquer atividade estabelecida fisicamente e que emita ou possa emitir poluentes na atmosfera, como chaminés industriais, e as fontes móveis, como veículos motorizados.

A classificação dos poluentes, mediante premissas da dinâmica química, técnico e científica, é de poluente primário e secundário. Poluentes emitidos diretamente na atmosfera desde a fonte são chamados de primários, enquanto os poluentes secundários não são emitidos como tal, mas são transformados dentro da atmosfera em poluição (HARRISON, 1996).

É preciso considerar dois tipos de poluente: gasoso e particulado. O gasoso inclui substâncias como dióxido de enxofre e ozônio, suas concentrações no ar são geralmente expressadas em massa por volume ($\mu g/m^3$ de ar) ou como concentrações volumétricas (1 ppm = 10^{-6} v/v; 1 ppb = 10^{-9} v/v). Por outro lado, o

material particulado é muito diverso em composição química e em tamanho. Inclui partículas sólidas e líquidas, e os tamanhos vão desde uns poucos nanômetros até milhares de micrômetros de diâmetro. As concentrações são expressadas em µg/m³ (HARRISON, 1996), sendo Micro (µ) um prefixo do sistema internacional de unidades denotando um fator de 10^{-6} metros (um milionésimo).

A tabela 01 mostra alguns dos poluentes atmosféricos, mas poderiam ser adicionados outros importantes como os compostos orgânicos voláteis e o dióxido de carbono, que possui a capacidade de aumentar a temperatura na troposfera (MILLER, 2007).

Tabela 1 - Características dos principais poluentes do ar.

Poluente	Descrição	Fontes antropogênicas	Efeitos à saúde	Efeitos ambientais
Monóxido de carbono (CO)	Incolor e inodoro	Combustão incompleta de combustíveis fosseis, cigarro. Originam-se principalmente nos veículos motorizados.	Reduz a capacidade do sangue de levar oxigênio ás células e aos tecidos do corpo. Isso debilita a percepção e o raciocínio; retarda os reflexos; causa dor de cabeça, sonolência, tontura e náusea; pode provocar ataque cardíaco e angina; danifica o desenvolvimento do feto e de crianças pequenas; agrava a bronquite crônica, o enfisema e a anemia. Em altos níveis pode causar desmaio, coma, danos cerebrais irreversíveis e morte.	Risco de intoxicação na população e animais.
Dióxido de nitrogênio (NO2)	Gás vermelho-amarronzado irritante que dá ao smog a cor marrom; na atmosfera pode ser convertido em acido nítrico, um importante componente da deposição acida	Veículos motorizados, usinas elétricas e industrias	Irrita e prejudica os pulmões; agrava a asma e a bronquite crônica; aumenta a suscetibilidade a infecções respiratórias, como gripe e resfriados comuns principalmente em crianças e idosos.	Reduz a visibilidade; a deposição acida do acido nítrico pode danificar arvores, solo e vida aquática em lagos.
Dióxido de enxofre(SO2)	Incolor, irritante; forma-se da queima de combustíveis fosseis que contenham enxofre como o carvão e o petróleo; na atmosfera, pode ser convertido em acido sulfúrico, um importante componente da deposição acida	carvão queimado nas usinas e processos industriais	Problemas de respiração em pessoas saudáveis; obstrução das vias respiratórias em pessoas que sofrem de asma; a exposição crônica pode causar uma condição permanente semelhante bronquite	reduz a visibilidade; a deposição acida do acido sulfúrico pode danificar arvores, solo e vida aquática.
Matéria particulada suspensa	Variedade de partículas liquidas e solidas, pequenas e leves o suficiente para permaneces suspensas na atmosfera durante períodos curtos(partículas grandes) ou períodos longos (partículas pequenas), causa fumaça,	Queima de carvão em usinas elétricas e industrias, queima de diesel e outros combustíveis em veículos, agricultura (lavra, queima dos campos), estradas não pavimentadas, construções	Irritação no nariz e na garganta, danos aos pulmões; agrava a bronquite e a asma; diminui o tempo de vida; partículas toxicas (como chumbo, cadmio, PCBs e dioxinas) podem causar mutações, problemas reprodutivos e câncer	Reduz a visibilidade; a deposição acida de gotas de acido sulfúrico pode danificar arvores, solo e vida aquática em lagos
Ozônio	Gás irritante altamente reativo e de odor desagradável; forma-se na troposfera como um importante componente do smog fotoquímico	reação química com compostos orgânicos voláteis emitidos principalmente por carros e industrias, e óxidos de nitrogênio para formar o smog fotoquímico	Problemas respiratórios; tosse; irritação nos olhos no nariz e na garganta; agrava doenças crônicas como asma, bronquite, enfisema e problemas cardíacos, reduz resistência a resfriados e pneumonia; pode acelerar o envelhecimento dos tecidos do pulmão	O ozônio pode danificar plantas e arvores; o smog pode reduzir a visibilidade
Chumbo	Metal solido toxico e seus compostos, emitidos na atmosfera como matéria particulada	tinta(casas antigas), caldeiras (refinaria de metal), fabricação de chumbo, baterias de armazenamento, gasolina chumbada	Acumula-se no corpo; causa danos cerebrais e outros no sistema nervoso e retardo mental (principalmente em crianças); problemas digestivos e outros problemas de saúde; algumas substancias químicas que contem chumbo causam câncer em cobaias	Pode se bioacumular em animais selvagens

Fonte: Miller, 2007.

1.1.2. Dinâmica da troposfera

1.1.2.1. Qualidade do ar

O ar que respiramos é essencial para a vida. Nosso sistema respiratório tem como função captar o oxigênio do ar no sangue, a fim de ser distribuído para as células, assim como da expulsão do CO_2, subproduto biológico. Nesse sentido, cabe perguntar: o que é ar limpo?

É difícil responder o que é ar puro. O ar puro é uma mistura de gases, contendo: 78% de nitrogênio; 20,1% de oxigênio; 0,9% de argônio; 0,03% de dióxido de carbono; 0,002% de neônio; 0,0005% de hélio e assim por diante. Porém, esse ar não se encontra na natureza e serve apenas como referência, tal como a água pura. Por conta disso, considera-se poluentes aqueles materiais que, quando adicionados ao ar puro em uma concentração suficientemente alta, causarão efeitos adversos (VESILIND e MORGAN, 2011).

O sistema respiratório possui várias formas de defesa contra a poluição do ar, mas alguns poluentes podem superá-las. A exposição prolongada ou aguda a poluentes do ar, incluindo fumaça do tabaco, pode sobrecarregar ou eliminar essas defesas naturais. Isso pode causar ou contribuir para a ocorrência de várias doenças respiratórias, como o câncer no pulmão, a bronquite crônica, inflamação persistente e danos às células que forram os brônquios e os bronquíolos. Os resultados são acúmulo de muco, tosse acompanhada de dor e falta de ar. Fumar e/ou respirar poluentes podem, também, causar danos mais profundos no pulmão, como o enfisema (MILLER, 2007).

Quando se trata de qualidade do ar, existem dois níveis, que são a qualidade de ar interna e externa, interna em espaços fechados e externa em espaços abertos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, na sigla em inglês), afirma que a poluição do ar dentro dos interiores, representa uma ameaça muito maior à saúde dos humanos do que a poluição do ar no exterior (MILLER, 2007).

O ar limpo corresponde um requisito básico para a saúde e o bem-estar humano. Segundo dados de 2005 da Organização mundial da saúde (OMS), pode-se atribuir 2 milhões de mortes prematuras pelos efeitos da poluição do ar em espaços urbanos abertos e em espaços fechados.

Tendo presente a dificuldade de padronizar a composição do “ar limpo”, e o crescente número de estudos sobre os efeitos da poluição do ar na saúde, a OMS tem trabalhado em diretrizes do que se consideram concentrações aceitáveis no ambiente. Essas diretrizes foram elaboradas com o objetivo de respaldar medidas orientadas a manter uma qualidade de ar que proteja a saúde pública.

Deste modo, a OMS estabelece valores para as concentrações aceitáveis, por unidade do tempo, para 35 poluentes. Estes valores podem ser discutidos e os governos locais devem atribuir valor jurídico a eles.

Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar.

Poluente	**Padrão OMS**	**Padrão Nacional**	**Padrão EPA**	**Padrão UE**
MP_{10}	20 µg/m3, média anual 50 µg/m3, média de 24 horas		150 µg/m3, média de 24 horas	40 µg/m3 média anual 50 µg/m3, média de 24 horas
$MP_{2,5}$	10 µg/m3, média anual 25 µg/m3, média de 24 horas		12 µg/m3, média anual 35 µg/m3 média de 24horas	25 µg/m3, média anual
O_3	100 µg/m3, média de oito horas	160 µg/m3, média de uma hora	147 µg/m3, maior média diária de 8 horas	120 µg/m3, maior média diária de 8 horas
NO_2	40 µg/m3, média anual 200 µg/m3, média de uma hora	100 µg/m3, média anual 320 µg/m3, média de uma hora	188 µg/m3, amostragem de 1 hora 100 µg/m3, média anual	125 µg/m3, média de 24 horas 200 µg/m3, média de 1 hora
SO_2	20 µg/m3, média de 24 horas	80 µg/m3, média anual	196 µg/m3, amostragem de 1 hora	350 µg/m3, média de 1 hora

	500 µg/m3, média de 10 minutos	365 µg/m3, média de 24 horas		

Fonte: Instituto de saúde e sustentabilidade, 2014.

A tabela 2 compara os diferentes padrões de qualidade do ar, da OMS, do Brasil, da USEPA e da Agência Europeia do Ambiente. A OMS monitora a qualidade do ar no mundo através de uma base de dados dos resultados dos monitoramentos das cidades que o praticam. Aqui, toma-se como referência a média anual das concentrações de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). Pode-se observar que não há padrão nacional para material particulado (MP), no caso, a legislação brasileira faz referência e estabelece limites a partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis. Estas últimas podem ser consideradas como MP_{10} (tamanho de partícula ≤ 10 micrômetros).

1.1.2.2. Movimento do ar e transporte de poluentes na atmosfera

Para afetar os seres vivos e o seu meio, os poluentes atmosféricos devem ser transportados desde a fonte. O meio principal com que eles são distribuídos no espaço, é pelo vento. Eis a importância de observar os fenômenos atmosféricos determinantes no tráfego dos poluentes através da atmosfera para compreender o seu movimento.

A atmosfera é dinâmica, dentro dela acontecem constantes expansões e compressões de gases, assim como trocas de calor. A luz solar é a fonte que fornece energia à atmosfera. A diferença de calor capturada entre os polos e o Equador provê quase toda a circulação inicial da atmosfera. A rotação da Terra junto com a transferência de calor dos oceanos e a terra produzem os fenômenos atmosféricos (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Dentro da atmosfera acontecem variados fenômenos naturais, e é na troposfera onde a maior parte deles acontece. Excetuando-se os problemas do aquecimento global e depleção de ozônio estratosférico, os problemas da poluição atmosférica ocorrem na troposfera. Aqui, os poluentes emitidos são transportados

por correntes de ar que, em geral chamamos de vento (VESILIND e MORGAN, 2011). O vento não só transporta os poluentes através do ambiente, mas também os dispersa, reduzindo sua concentração à medida que se afasta da fonte emissora. A dispersão está diretamente relacionada à estabilidade do ar, ou à quantidade de ar em movimento vertical (VESILIND e MORGAN, 2011). A estabilidade atmosférica relaciona-se com as condições dos gradientes adiabáticos, que correspondem à variação da temperatura que acontece nas massas de ar em movimento vertical.

Sendo assim, os sistemas superadiabaticos atmosferas instáveis e os sistemas subadiabaticos atmosferas estáveis, esse último suscetível a uma baixa dispersão e à acumulação das concentrações dos poluentes. Por outro lado, existem as chamadas 'inversões', a inversão é um sistema subadiabatico extremo, e o movimento vertical do ar dentro do sistema de inversão atmosférico é quase nulo (VESILIND e MORGAN, 2011).

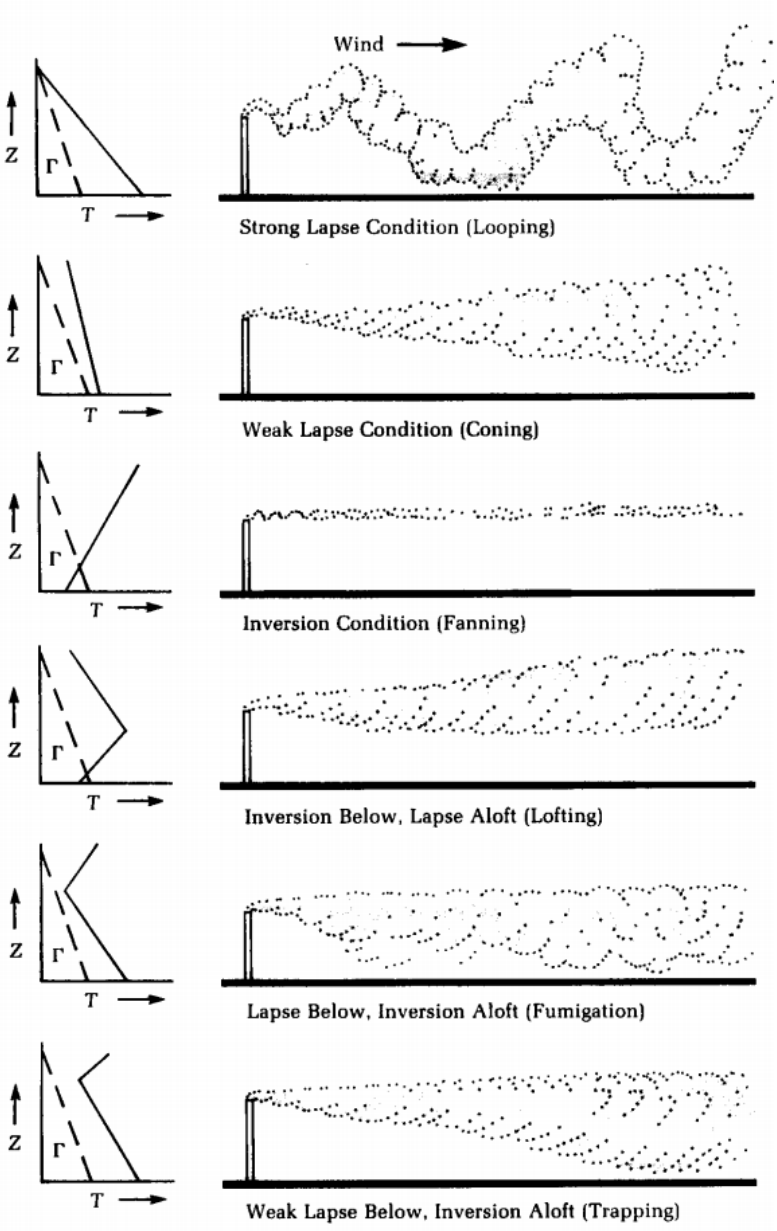
A precipitação em forma de chuva é outro fenômeno que favorece a dispersão. A chuva vai acelerar a deposição do material particulado e dos gases solúveis em água.

Efetivamente a estabilidade tem um papel importante na dispersão dos poluentes. Mas o que ela representa? A estabilidade é a tendência da atmosfera de resistir ou realçar os movimentos verticais. Está relacionado à velocidade e à mudança de temperatura com a altitude (gradientes). A estabilidade pode ser classificada em 3: neutral, instável e estável. A estabilidade neutra se relaciona com sistemas adiabáticos, mais particularmente sistemas adiabáticos secos. A atmosfera instável, vinculada a sistemas superadiabaticos e, finalmente, a atmosfera estável relacionada aos sistemas subadiabaticos (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Os poluentes provêm de fontes de emissão diferentes. Pode ser, desde uma fonte fixa pontual, por exemplo uma chaminé industrial, ou atividade vulcânica. Mas também pode ser uma área, por exemplo um conjunto de chaminés em uma zona industrial ou um incêndio florestal. Por último, a fonte de emissão pode ser móvel como os escapes dos veículos motorizados. Para cada caso, a dispersão é diferente. No caso da chaminé, há consideração para controlar a emissão, isto é, geralmente, o cálculo da altura e sua localização. Existe uma classificação para os tipos de pluma das chaminés e seu comportamento vai depender das condições

adiabáticas e de inversão. Na figura 1, apresentam-se gradientes adiabáticos e como se comporta a pluma nessas condições (Z = altitude; T = temperatura Γ= gradiente adiabática seca).

Figura 1 - Seis tipos de comportamento de pluma.



Fonte: Church, 1949 apud Davis e Cornwell, 2008

A inversão térmica é um agravante da poluição atmosférica urbana. A inversão térmica, basicamente, é produzida pela presença de ar mais frio perto da superfície (abaixo) e ar mais quente presente no céu (acima), o resultado é uma camada de inversão que atrapalha o ar embaixo. Tem uma duração de horas e até dias, por

conseguinte, os poluentes podem ser acumulados intensamente. Esse fenômeno, mais frequente no inverno, geralmente é responsável pelos episódios críticos de poluição urbana.

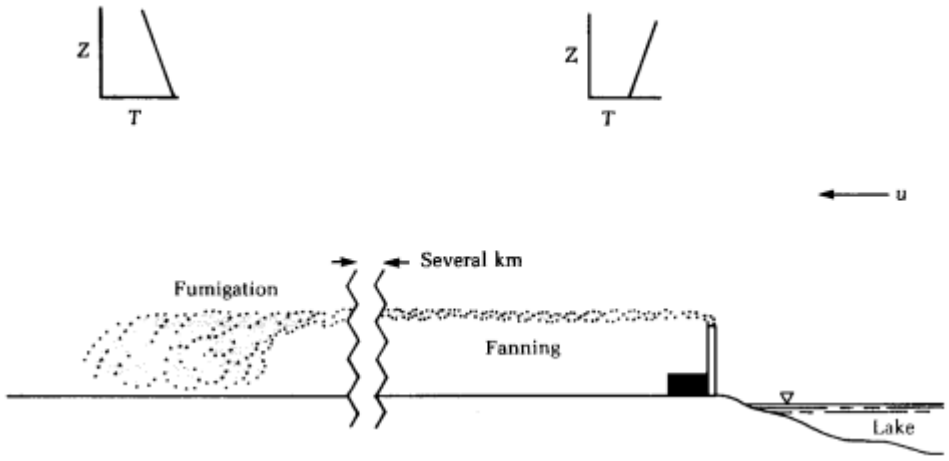
A inversão térmica pode derivar de super-resfriamento de superfície, chamando-se ‘inversão por radiação’, mas também pode derivar de anticiclones, que são centros de alta pressão e fontes de inversão térmica, denominando-se ‘inversão por corrente descente’. Pode, ainda, derivar da entrada de uma frente fria, denominando-se de ‘inversão frontal’ (FURLAN, 2007). As cidades situadas em fundos de vale ou de depressões tendem a ser afetadas pela inversão, causada pela descida de ar frio durante a noite. É evidente que essa condição é a mais desfavorável para a qualidade do ar nas cidades.

As ilhas de calor também podem influenciar os níveis de concentração dos poluentes nas cidades. Uma ilha de calor, em simples termos, corresponde uma massa de material, de origem antropogênica ou não, que absorve e irradia calor superior à temperatura ambiental. Em consequência, há correntes de convecção vertical sobre a ilha de calor. Os efeitos são dominantes ao tempo meteorológico prevalente e são anulados por ventos intensos (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Pelo efeito da ilha de calor, a estabilidade atmosférica é menor sobre uma cidade do que na periferia. Dependendo da localização das fontes de emissão, as ilhas de calor podem ser favoráveis ou desfavoráveis. Em primeiro lugar, para fontes na superfície, como os veículos motorizados, a massa de ar instável possibilita maior volume de ar para a dispersão dos poluentes, mas também é suscetível de formar smog. Por outro lado, em condições estáveis, a pluma da chaminé pode transportar sobre a cidade sem aumentar as concentrações na superfície. Embora, em instabilidade provocada pela ilha de calor, mistura a pluma na superfície (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Em localidades próximas a grandes corpos aquáticos, a brisa marinha pode influir na dispersão de poluentes. A brisa marinha vai na direção terra-água durante a noite, enquanto de dia acontece o contrário. O efeito da brisa marinha na estabilidade é de impor uma inversão próxima à superfície. Quando o vento vai na direção água-terra, o gradiente adiabático provoca uma pluma tipo *‘fanning’*. Mas, em algum ponto terra adentro, a pluma muda para o tipo *‘fumigation”* (DAVIS e CORNWELL, 2008).

Figura 2 - Efeito da brisa marina na dispersão da pluma.



Fonte: Davis e Cornwell, 2008.

É evidente que as condições climáticas-geográficas influenciam na qualidade do ar das cidades, mas também depende das características econômicas e de como se gerencia a qualidade do ar. Em outras palavras, a poluição atmosférica é, de fato, antropogênico, mas as condições climatológicas regionais vão agravar ou atenuar o problema.

A seguir, serão apresentados alguns fenômenos atmosféricos de poluição, com potenciais consequências adversas para a saúde ambiental. Começando pelo *Smog*.

A palavra "*Smog*" provém da conjunção das palavras anglo-saxãs '*smoke'* e '*fog'*. Existem dois tipos de '*smog*: industrial e fotoquímico. O industrial é composto principalmente por dióxido de enxofre e material particulado. Esse tipo de poluição levou aos primeiros problemas ambientais em relação à qualidade do ar na história, há 60 anos, após Revolução Industrial, nos países industrializados do hemisfério norte. Embora ainda seja um problema nas áreas urbanas da China, da Índia, da Ucrânia e alguns países do leste europeu. Sua principal causa foi pela queima de grandes quantidades de petróleo pesado e carvão em usinas elétricas, fábricas e para aquecimento de lares (MILLER, 2007).

Uma reação fotoquímica é qualquer reação química ativada pela luz. O fotoquímico produz-se quando uma mistura de óxidos de nitrogênio e compostos hidrocarboneto orgânicos voláteis reagem sob a influência da radiação UV para produzir uma mistura de mais de cem poluentes primários e secundários (MILLER,

2007). Ainda em relação a este, está ligado à concentração de emissões provenientes de veículos motorizados e de caldeiras, usinas elétricas e de indústrias que queimam carvão. Este problema é agravado pelos dias quentes, e são mais propensos para acontecer no começo da tarde. Este corresponde a um problema urbano atual, e se manifesta mais na presença de uma grande densidade veicular. O clima também influencia o '*smog'* fotoquímico, e o fenômeno é mais suscetível em cidades ensolaradas, quentes e de clima seco (MILLER, 2007).

A deposição ácida é outra consequência de um mal gerenciamento da qualidade do ar. Existem dois tipos de deposição: seca e úmida. Os poluentes acumulados na atmosfera, reagem e produzem substâncias ácidas que são transportadas pelo vento por longas distâncias antes de retornar à superfície. A deposição seca, acontece no período de dois a três dias até que o vento e a gravidade depositam os poluentes na superfície. No caso da deposição úmida, ocorre no período de quatro a quatorze dias, e em áreas mais distantes.

Os mecanismos de deposição úmida são chuvas, neve, neblina e vapor de nuvens com pH inferior a 5,6 (MILLER, 2007). Corresponde a um problema regional, a chuva ácida pode afetar a qualidade do solo, acidificando solos sensíveis. Por outro lado, quando chega até corpos aquíferos, pode alterar o pH das águas até dificultar a subsistência dos peixes.

1.2. Aspectos socioambientais da poluição na troposfera

Não é preciso, apenas, observar o céu para estudar a problemática da poluição atmosférica, precisa-se de um olhar interdisciplinar. É um problema que, em vários casos, nasce da ação antropogênica, e põe em risco o habitat e a saúde dos seres humanos A relação (em cadeia) homem-poluição-homem evidentemente existe, porém, é uma relação dinâmica e complexa. Os fatores sociais podem afetar a qualidade do ar de um lugar, mas esses fatores sociais vêm de uma cadeia de aconteceres além do lugar poluído. Nesta parte, procura-se descrever e discutir como os fatores socioeconômicos condicionam o ambiente, criando, em certas ocasiões, espaços que são vulneráveis à poluição do ar.

Primeiramente, é preciso saber que não existe o ar limpo. Ar puro é apenas um conceito que corresponde a uma mistura de partículas em diferentes proporções, que quando, de certa forma, se desestabiliza, está-se em presença de ar ‘impuro’. O que está em discussão é: quando as partículas que se acumulam na atmosfera apresentam riscos para a saúde?

Como foi sobredito, desde o domínio do fogo e pela ocorrência de fenômenos naturais, a poluição do ar tem acompanhado a humanidade, embora seja na intensificação da exploração do combustível que a situação começa a tomar um rumo perigoso. Segundo Lefebvre (1968, p. 3) na “problemática urbana, impõe-se um ponto de partida: o processo de industrialização”.

As primeiras cidades onde se manifestam problemas sérios de poluição do ar estão situadas, naturalmente, no hemisfério norte, especificamente na Europa e Estados Unidos (MEUSE- VALLEY, 1930; ST. LOUIS 1939; DONORA, 1948), o maior episódio foi em Londres 1952, no qual se atribuem milhares de mortes. Embora, todos esses casos tenham em comum as condições meteorológicas adversas para a depuração natural do ar, a sobrecarrega de poluentes foi de origem antropogênica.

Com efeito, os primeiros sintomas perceptíveis da poluição atmosférica acontecem nas cidades industrializadas, em outras palavras, nas primeiras cidades onde se acumula e centraliza a produção, particularmente, dependentes dos processos de combustão. Esta proliferação da dependência do combustível, consequentemente, do aumento das emissões, é provável que se tenha originado na primeira revolução industrial, uma vez que “a industrialização caracteriza a sociedade moderna” (LEFEBVRE, 1968, p. 3).

Clara está a incidência do processo de industrialização sobre a poluição atmosférica, porém, esse processo não pode avançar sem o consumo. Um exemplo para aclarar isso é a excessiva quantidade de carros em circulação nas ruas. Nalgum ponto, as cidades passaram a ser desenhadas para os carros, adaptando-se para a ótima circulação da grande quantidade de veículos motorizados.

A dinâmica dos poluentes é variável, atribuído aos movimentos do ar os diferentes tamanhos das partículas e as transformações químicas. Enquanto as fontes de emissão e sua origem, a queima de combustíveis fósseis em veículos motorizados e em usinas elétricas e industriais são as principais fontes de poluição do ar advinda da atividade humana (MILLER, 2007). Por conseguinte, a responsabilidade da qualidade do ar é tanto da indústria quanto dos consumidores, tanto da cidadania

como da governança (no papel de administrador). Assim, desde a perspectiva da poluição do ar urbana, há três atores sociais que disputam essa ‘tragédia dos comuns’: indústria, cidadãos e governo (HARDIN, 1968).

A responsabilidade no caso da indústria não precisa de muita explicação. O modelo econômico, a concentração da produção, as comodidades naturalizadas da sociedade refletido nos padrões de consumo ou na satisfação das ‘necessidades’ comprometem o meio ambiente próximo e distante. A pressão pública (cidadã), a tomada de decisão e a transmissão da informação pelo governo na sua função de facilitador, isto é, cada ator tem um papel determinante na qualidade do ar, o canal de percepção físico-químico do clima urbano.

Considerando o sistema econômico atual, a teoria da acumulação pode explicar, em parte, a intensificação da poluição do ar na sociedade urbana. Segundo Harvey (2001, p. 43), o sistema capitalista é “dinâmico e inevitavelmente expansível; esse sistema cria uma força permanentemente revolucionária, que, incessante e constantemente, reforma o mundo em que vivemos”. É exatamente da maneira de como deu-se aquela “reforma”, a que vira suscetível o espaço, à poluição do ar.

Na teoria da acumulação, segundo Harvey (2001, P. 43), o sistema de produção capitalista precisa romper com a barreira do espaço. “O estado estacionário da reprodução simples, é [...] logicamente incompatível com a perpetuação do modo capitalista de produção”. Considerando isso, as indústrias que prosperam, necessariamente, precisam se expandir e “anular a barreira do espaço”. Naturalmente, nesta necessidade, procuram-se os meios de comunicação mais convenientes para a rentabilidade e a prosperidade. Nesse cenário podem acontecer situações particulares de interesse no compreender da poluição do ar: a concentração da produção, a deslocação dos recursos e os produtos, a extensão da produção pelo meio de novas sucursais, mas principalmente e presente em todos os casos anteriores, na dependência dos processos de combustão.

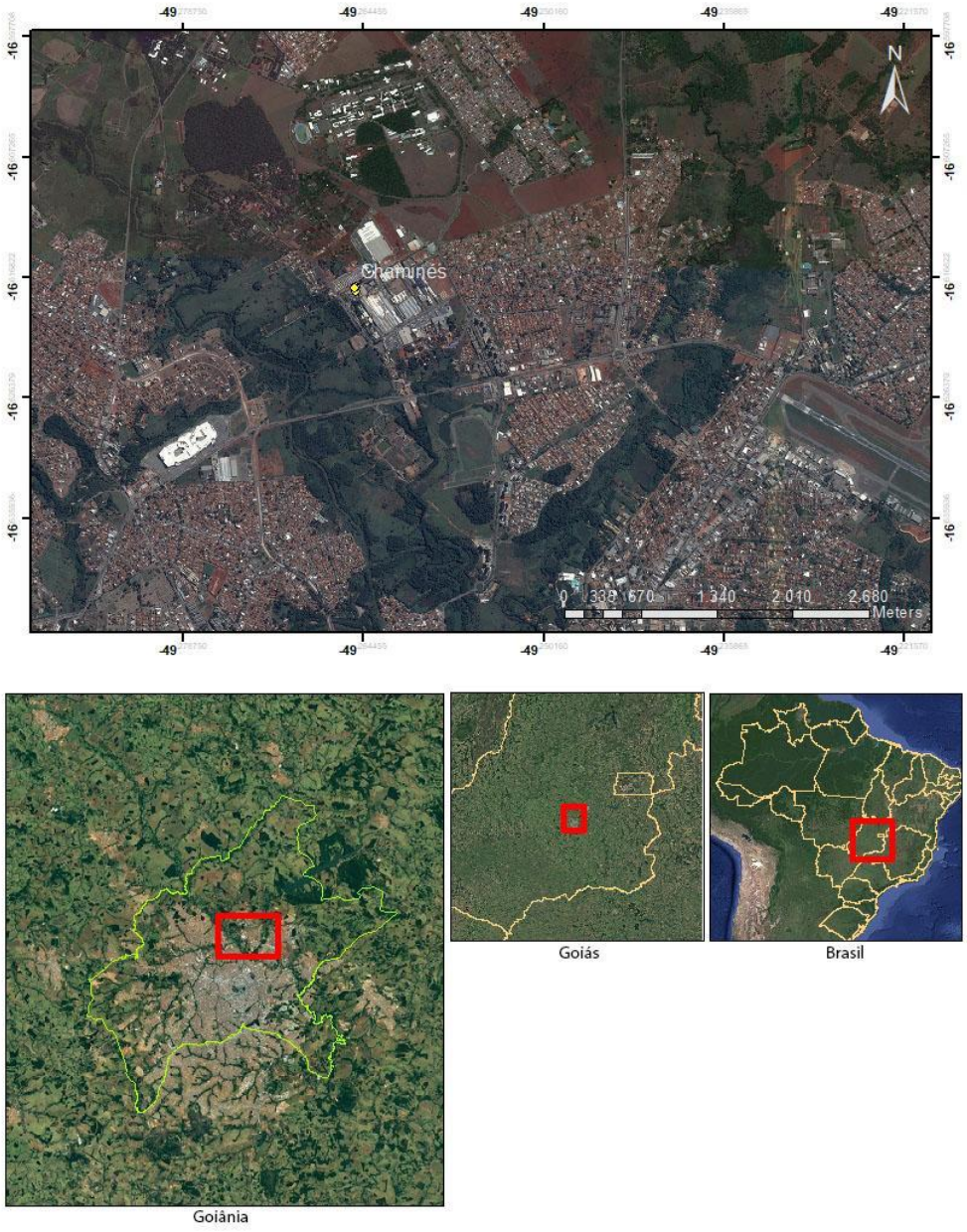
PARTE II

POLUIÇÃO E QUALIDADE DO AR, MODELAGEM AMBIENTAL DA DISPERSÃO DOS POLUENTES DE FONTE FIXA

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

Para conseguir o objetivo principal desta pesquisa, resolveu-se usar, a modo de ilustrar a dispersão de poluentes, as emissões provenientes de uma indústria alimentar dentro de Goiânia, capital do estado de Goiás (figura 3). O município localiza-se a 208 km de Brasília, a capital nacional. Possui uma área aproximada de 728,841 km² e uma população estimada de 1.466.105 pessoas (IBGE, 2017).

Figura 3 - Área de estudo.



Fonte: imagens Google Earth.

Goiânia foi planificada com propósitos de governança, embora tomou uma relevância econômica. “Goiânia foi criada para ser centro político-administrativo do estado e posteriormente se tornou polo de desenvolvimento regional” (MOYSES, 2004 apud REGO, 2015 p. 25).

Dentro do marco da apropriação histórica, é importante destacar a expansão da agricultura que poderia explicar a colocação da indústria alimentar em Goiânia. Segundo Chaveiro et al (2009 apud REGO, 2015, p. 25) “a ocupação do território em Goiás ocorreu por meio do crescimento populacional induzido pelas políticas

territoriais". Entre 1940 e 1960, Goiás apresentou um crescimento demográfico anual maior do que o Centro-Oeste e até do Brasil, devido às políticas expansionistas e a ampliação da rede rodoviária. Começada na década de 1960, a dinâmica populacional mudou com a entrada de migrantes, o êxodo rural e a expansão agrícola. (CHAVEIRO et al, 2009 apud REGO, 2015. p. 25). De fato, no final dessa década, inicia-se as operações da Indústria em Goiânia, nesse contexto, provavelmente pela proximidade à matéria-prima.

A história dessa indústria objeto desta pesquisa começa no ano 1929, pela fusão da firma holandesa fabricante de margarinas "Margarine Unie" e dos fabricantes de sabonete "Lever Brothers". Seu modelo de negócio era parecido, de larga escala de produtos domésticos e similar meio de distribuição. No momento da fusão, já operavam em mais de 40 países. Em 2003, o faturamento global chegou a 42,9 bilhões de euros, especificamente na América Latina o faturamento chegou a 4,4 bilhões (INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004).

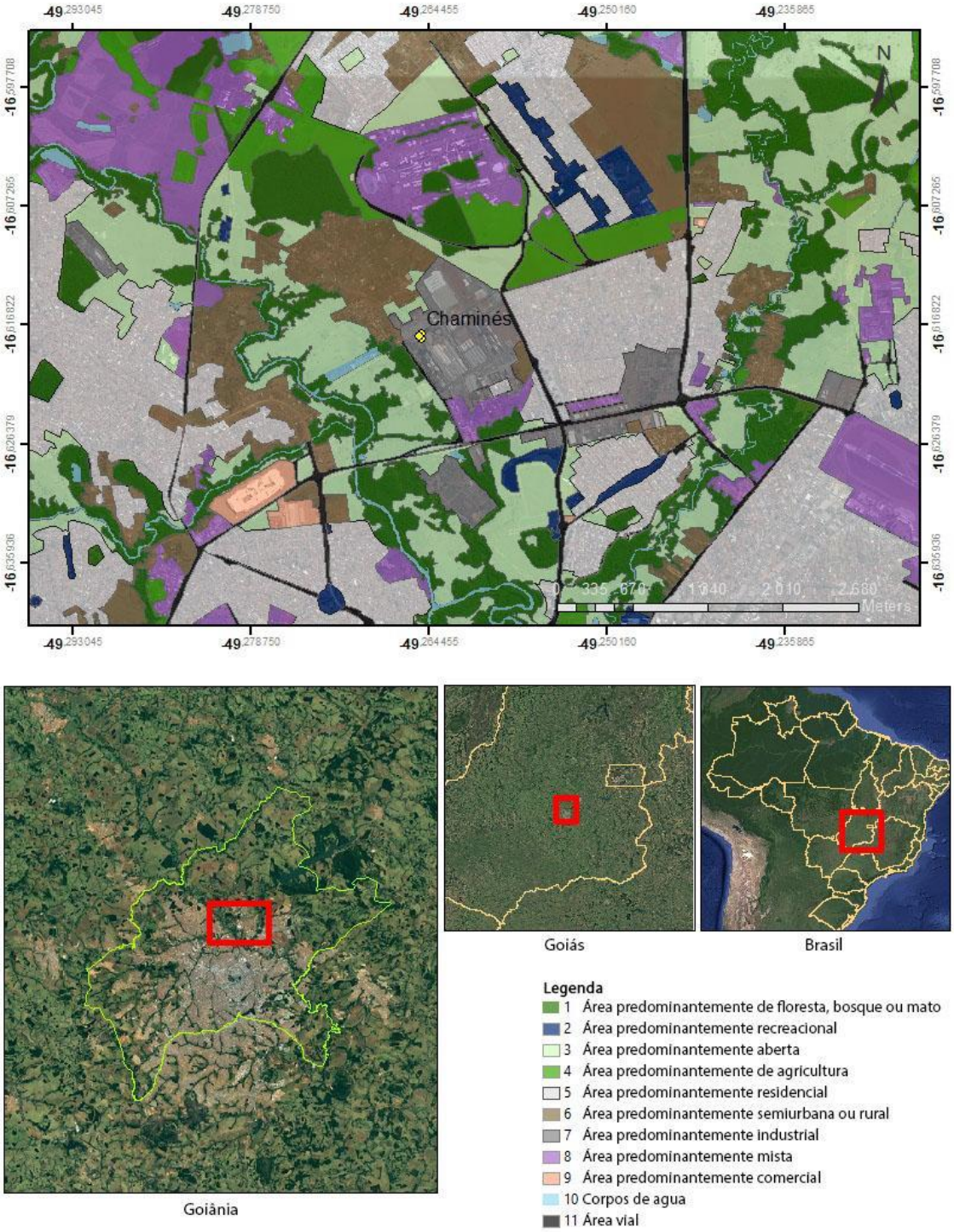
A Indústria em Goiânia está localizada no endereço Rua 5, 1005-1209 - Village Casa Grande, Goiânia – GO. Ela começou operações em Goiânia no ano 1969, sendo a fábrica mais antiga da empresa funcionando na atualidade (UNILEVER, 2017a). Pelo menos durante os últimos anos, a fábrica em Goiânia é focada na produção de alimentos populares: Maionese, molho de salada, mostarda, temperos em pó e pasta, sobremesas, produtos para o mercado industrial (caldos, temperos, molhos quentes, preparados) e arroz (UNILEVER, 2017b).

A operação da indústria em Goiânia é, primordialmente, de processamento alimentar. Esse fato envolve uma série de processos industriais para a transformação da matéria-prima em produtos comerciáveis. As linhas de produção dos alimentos podem incluir procedimentos que precisam de um alto uso de energia. Nesse ponto, é inevitável a geração de emissões atmosféricas que, dependendo da intensificação da produção e das condições atmosféricas, podem ser consideradas como uma externalidade negativa da empresa.

Para assimilar o contexto da área de estudo, criou-se um mapa de uso de solo. O foco do mapa é identificar áreas onde se atingiam alvos que sejam afetados pela poluição atmosférica, tais como bairros ou ecossistemas. Dessa forma, são classificadas 11 áreas segundo o fator predominante imerso. As ‘‘áreas predominantes de florestas e bosque’’ foram agrupadas, o critério de seleção foi para as áreas onde se identifica grande densidade de formação vegetal, como a mata ciliar.

O critério usado para “áreas recreacionais” foi de selecionar parques, praças e campos de futebol. Selecionaram-se “áreas abertas” para todas as zonas que não apresentam maiores obstáculos dentro de grandes áreas. As “áreas de agricultura” foram selecionadas por ter indícios de trabalho agrícola no solo, como formações simétricas e preparação da terra. As “áreas residenciais” são as zonas da “mancha urbana” que concentram grande densidade de vivendas. Também se classificou “áreas semi-urbanas ou rural”, onde a densidade de vivendas é menor que em áreas residenciais, os caminhos são de terra e ficam próximos a áreas não urbanizadas. As “áreas industriais”, como indica o nome, são aquelas que têm indícios de atividades industriais, o critério foi de selecionar oficinas, concentração de caminhões e prédios com características industriais. As “áreas mistas”, selecionadas por apresentar vários elementos ou não ter esclarecida a predominância. Para classificar “áreas comerciais” selecionaram-se prédios comerciais com estacionamentos, tais como supermercados, atacadistas e shoppings. Os “corpos de água” são aqueles que são visíveis na imagem de satélite, tais como rios e lagoas. Finalmente se incluem as vias principais e algumas destacadas.

Figura 4 - Mapa de uso de solo dentro da área de estudo.



Fonte: Imagens Google Earth, 2017.

Dentro da área de estudo, a distribuição das áreas classificadas mostra um maior uso do solo para as áreas predominantemente residenciais. O que é importante de considerar, já que a fonte de emissão fica localizada próxima a estes centros

residenciais. O segundo lugar é ocupado pelas áreas abertas seguido pelas florestas e bosques.

Figura 5 - Distribuição de uso de solo.

Elaborado pelo autor

2.1.1. Clima e meteorologia

Considerando que o tempo seco poderia impedir ao sistema de clima urbano a resiliência do canal de percepção físico-químico, como se refere Monteiro (1976) à qualidade do ar, Goiás está absorto no bioma cerrado, isso implica estar condicionado pelos sistemas de circulação atmosférica da região centro-oeste. Nesse contexto, Nimer (1979 p. 419) afirma que “a característica fortemente marcada da região centro-oeste é o vasto domínio de clima semi-úmido, em cuja paisagem estende-se quase sempre o cerrado(...)”, também destaca que o clima semi-úmido nessa região se caracteriza por apresentar uma estação no verão chuvosa e outra seca com duração média de 4 a 5 meses concentrada no inverno (NIMER, 1979). Por outro lado, considerando os sistemas de classificação mais usados nos trabalhos científicos, Koppen-Geiger (1961) apud Nascimento (2016) diz que praticamente todo o estado de Goiás corresponde à tipologia Aw –clima tropical, com presença de chuvas no verão e temperatura média do mês mais frio superior a 18ºC.

O tempo seco invernal origina-se pela estabilidade que traz a influência do anticiclone subtropical do atlântico sul que se forma na parte continental (NIMER, 1979). Segundo Bastos e Ferreira (2000) apud Rego (2015), o anticiclone subtropical do atlântico sul é um sistema predominantemente estacionário, presente durante o ano todo. Para os estudiosos,

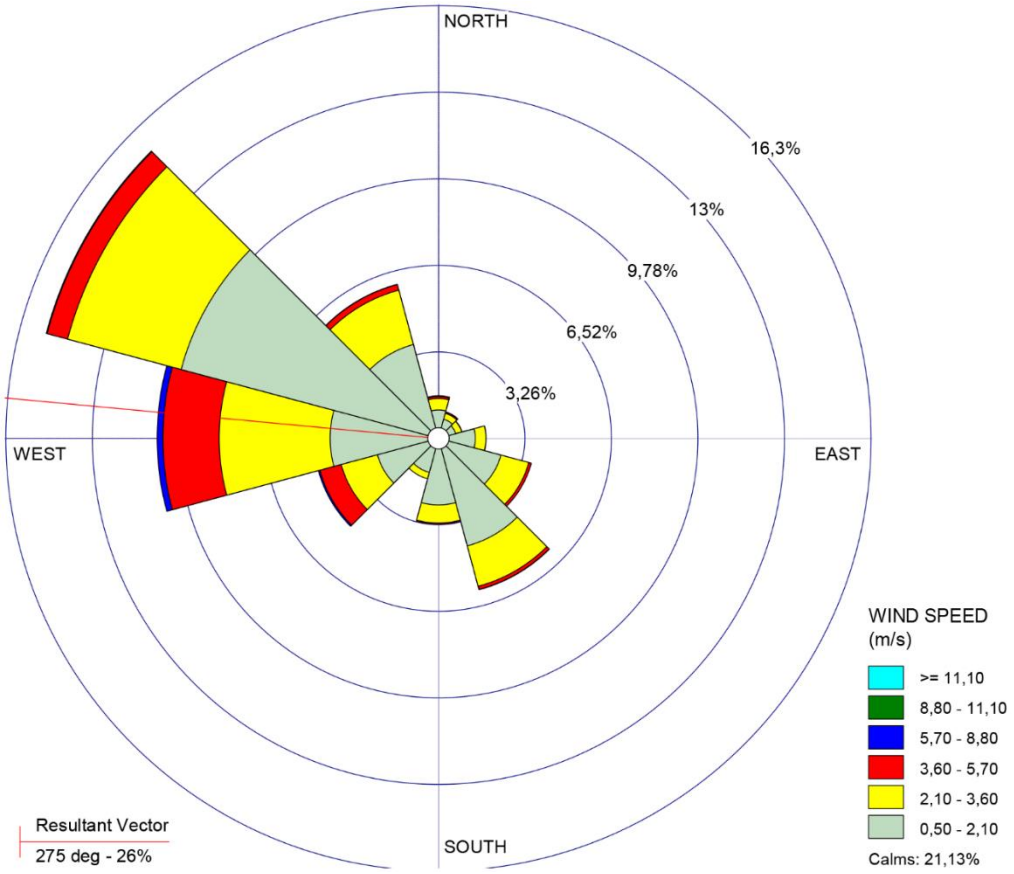
> “Durante o verão, o anticiclone se posiciona próximo à costa e no inverno se localiza no oceano. Caracteriza-se por ser seco, quente e praticamente não há formação de nuvens. Afasta as instabilidades tropicais, inibe a passagem de frentes frias e favorece a **concentração de poluentes aéreos nas grandes cidades”** (BASTOS e FERREIRA, 2000 apud REGO, 2015 p. 30 e 31, grifo nosso).

Entretanto, as origens das chuvas no centro-oeste brasileiro ocorrem devido às linhas de instabilidade (IT), à zona de convergência intertropical (CIT) e à frente polar (FP). Quando a frente polar atlântica se encontra com o ar quente da zona tropical, são formadas as linhas de instabilidade, produzindo no tempo ventos fortes, chuvas e trovoadas. As linhas de instabilidade, mesmo que a zona de convergência intertropical é mais habitual no verão, ao invés da frente polar comum no inverno (NIMER, 1979 *apud* REGO, 2015).

Para a presente dissertação, é necessário saber o contexto climatológico no qual Goiânia está envolvida. Desse modo, há de se destacar que o período da seca predominante do inverno é suscetível às más condições para a dispersão dos poluentes atmosféricos. Nesse ponto, tão determinante como a umidade e a precipitação, são a velocidade, frequência e direção do vento.

Os ventos no setor oriental da região centro-oeste sopram durante todo ano, predominando a direção NE a E pelo anticiclone subtropical semifixo do atlântico sul (NIMER, 1979). Essa tendência pode-se ver refletida nos ventos presentes em Goiânia, predominantes na direção E, na figura 6 um gráfico dos dados dos ventos da estação meteorológica automática pertencente a INMET localizada próxima ao aeroporto (Latitude: -16.642841º Longitude: -49.220222º Altitude: 727 metros). Pelo propósito dessa dissertação, o gráfico mostra a direção contrária, quer dizer, o vetor em sentido para onde o vento sopra e potencialmente arrasta os poluentes.

Figura 6 - Gráfico dos ventos Goiânia 2012 na direção para onde sopra.



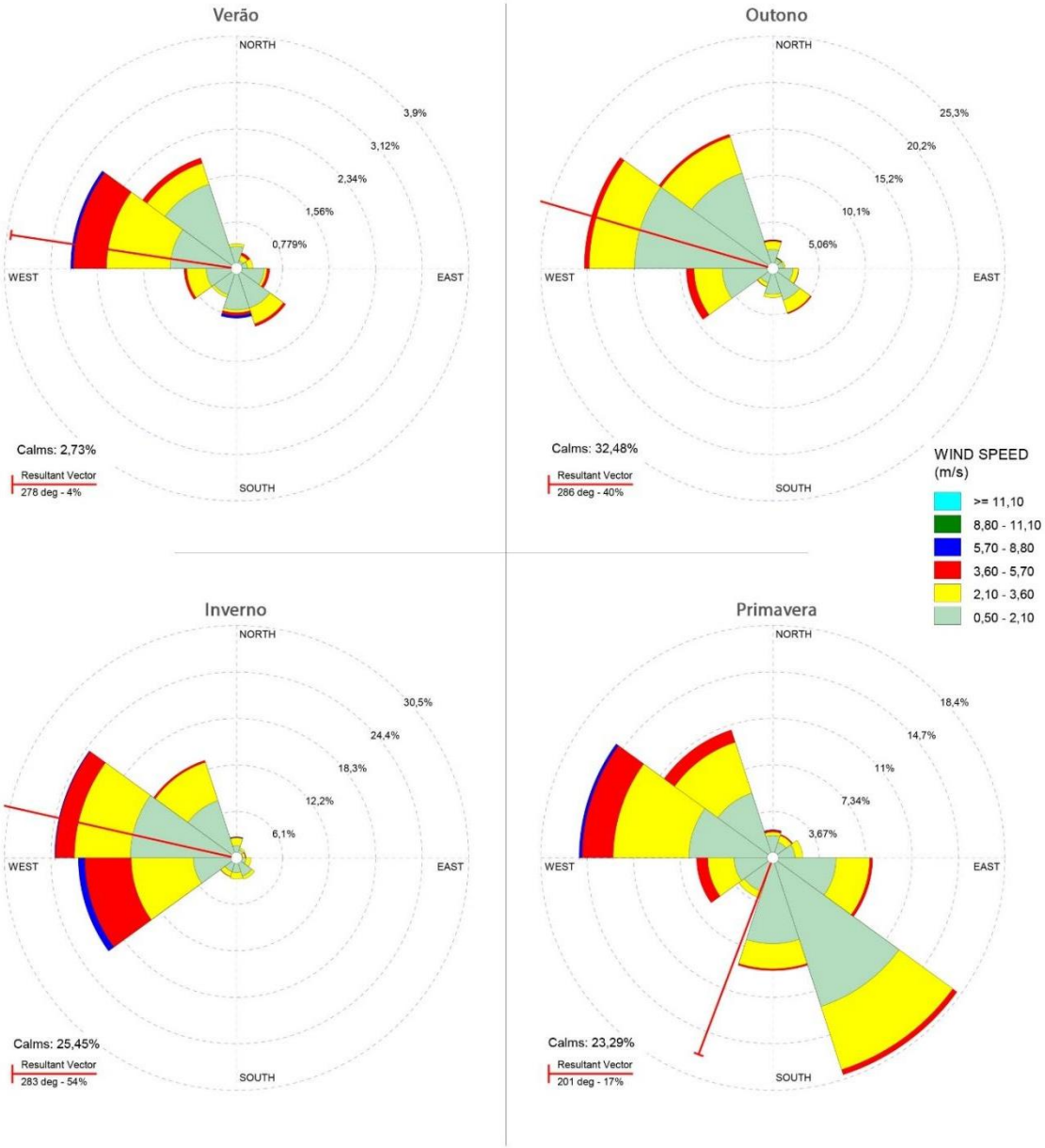
Fonte: INMET.

Observa-se que os ventos sopram, na sua maioria, para o NO com velocidade média de 1,43 m/s, é importante destacar a porcentagem de calmaria, 21,13%. A calmaria se enfatiza pelo efeito da atmosfera quieta que é desfavorável para a dispersão de poluentes, uma grande porcentagem de calmaria é favorável para a acumulação dos poluentes.

Esses dados dos ventos são representados de forma anual (figura 6), no entanto, na realidade os ventos variam a cada instante, pelo que é preciso analisar a predominância dos ventos em períodos de tempo mais curtos. Dessa forma, é necessário fazer uma leitura de que períodos de tempo apresentam características desfavoráveis para a dispersão dos poluentes.

Separou-se os ventos do recorte temporal, ano 2012, segundo as estações do ano. De tal forma, observar-se separadamente o que acontece com os ventos de forma sazonal.

Figura 7 - Gráfico dos ventos por estação Goiânia 2012 na direção para onde sopra.



Fonte: INMET.

Nos meses de verão do ano 2012, aconteceu um erro na recolecção dos dados na estação automática meteorológica, disponibilizando apenas um 12,22% dos dados para esse período, pelo que se descarta uma análise certa do verão.

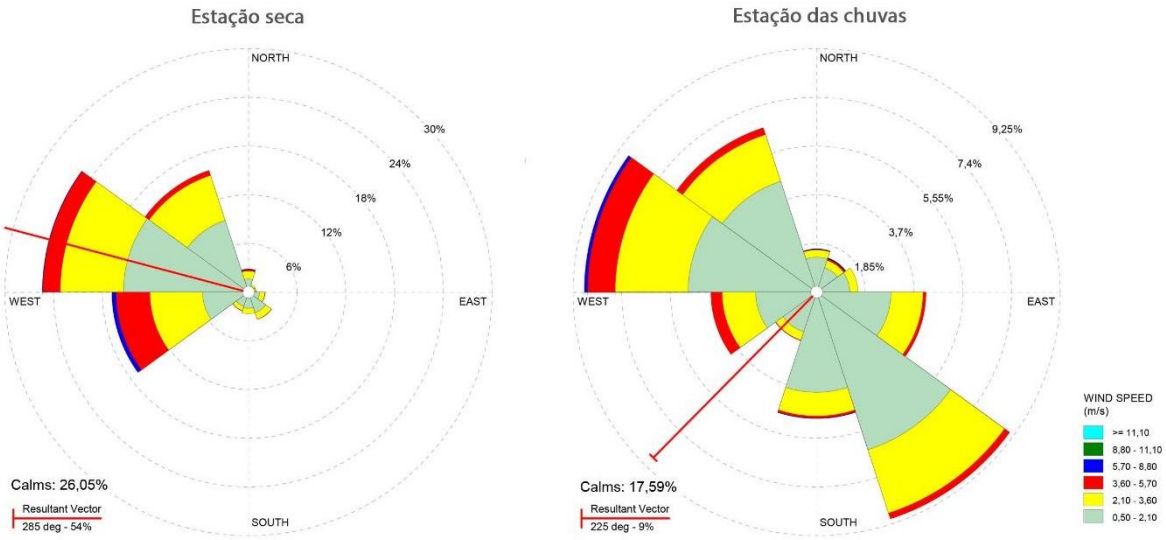
No outono, conta-se com 96,77% dos dados, a velocidade média do vento foi 1,14m/s, a menor dos períodos estivais. Junto com o anterior, a calmaria foi a maior das estações com 32,48%. O vetor resultante da direção dos ventos indica na direção similar do ano completo, sopraram para o NO (286°), com 40% dos ventos soprando para aquela direção.

Entretanto, o inverno teve a maior média de velocidade do vento (1,66m/s). A tendência na direção que sopram os ventos segue o mesmo padrão, um vetor resultante direção oeste (283° - 54%), sendo os ventos nas outras direções escassos e quase nulos.

O caso da primavera é diferente dos anteriores, os ventos sopram com similar frequência nas duas direções NO e SE, pelo que o vetor resultante é um ponto meio de ambas direções, embora com baixa frequência (17%) comparado com o vetor resultante do outono e o inverno.

Por outro lado, nos climas tropicais, as estações não são iguais aos climas temperados, onde verão, outono, inverno e primavera são notórios. Em Goiânia, pode-se reconhecer dois períodos, seco e de chuvas. Aqui se considera o período seco de maio até setembro e o período das chuvas nos meses restantes.

Figura 8 - Gráfico dos ventos por estação Goiânia 2012 na direção para onde sopra.



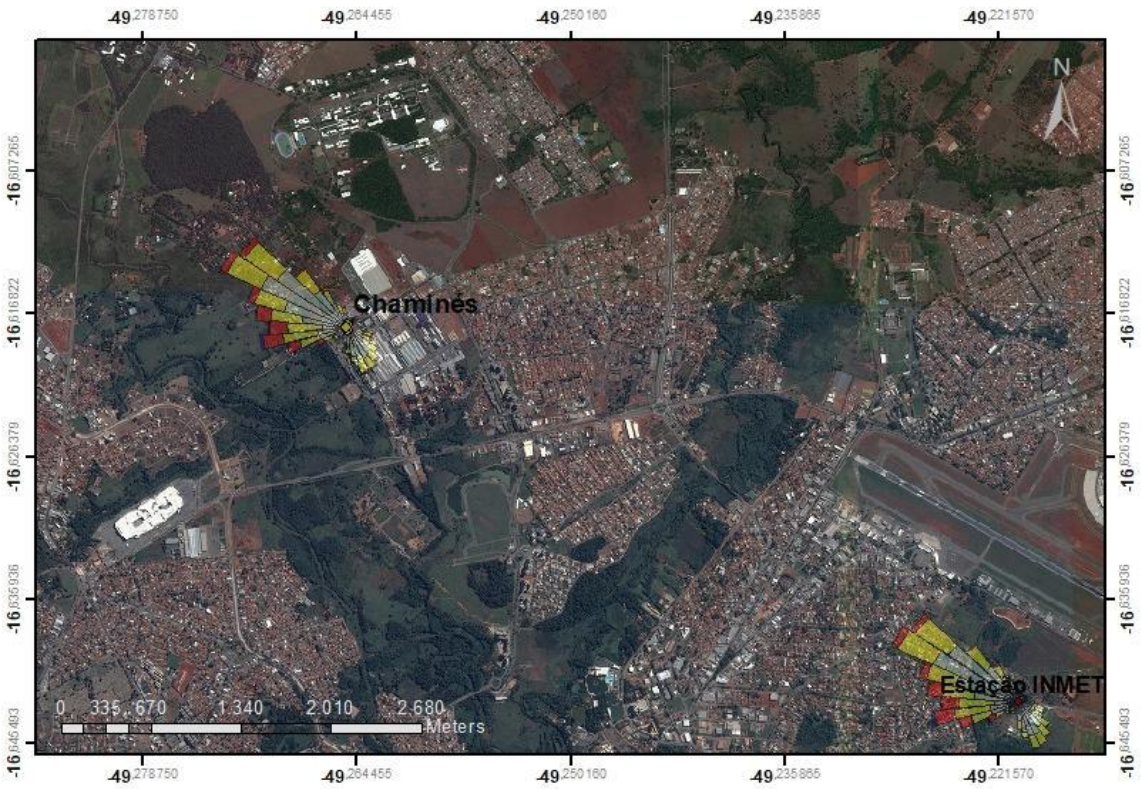
Fonte: INMET.

O período das chuvas apresenta um padrão similar ao da primavera, isto pode-se atribuir à ausência dos dados de verão, a disponibilidade para esse período úmido é de 61,47% dos dados.

Todos os dados meteorológicos dos ventos aqui revisados correspondem ao ponto de medição da estação automática meteorológica do INMET (Figura 9), a qual se localiza em uma distância prudente do ponto das chaminés (5,54km), pelo que se assume a representatividade dos dados no ponto da fonte de emissão. Embora o

relevo imerso dentro da fonte de emissão poderia influenciar os ventos quanto a sua direção.

Figura 9 - Gráfico dos ventos Goiânia 2012 na fonte de emissão e na estação meteorológica do INMET.

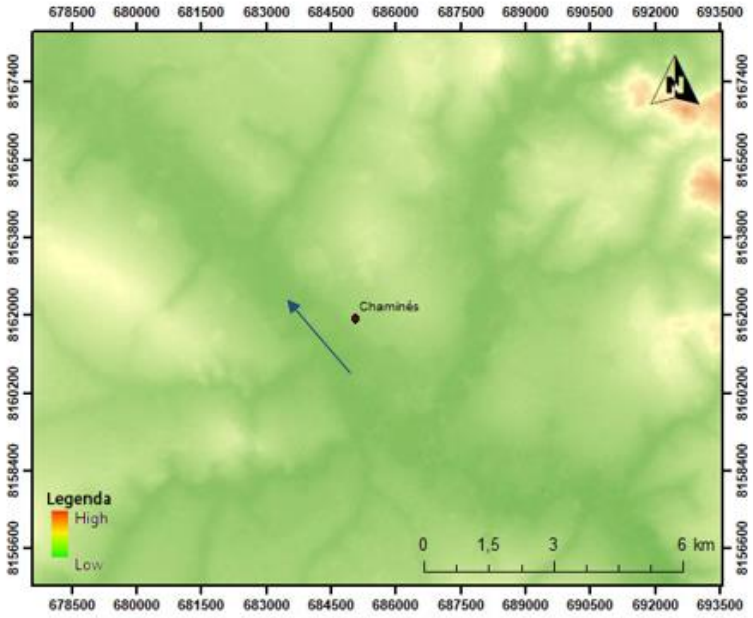


Fonte: INMET e Google Earth.

2.1.2. Relevo

O relevo também é muito importante na hora de analisar a dispersão dos poluentes. Neste caso de estudo, a fonte de emissão está localizada próximo ao fundo de vale, por conseguinte, os ventos são influenciados por essa geomorfologia arrastrando os poluentes. Como se mostra na figura 10, o local da chaminé encontra-se na parte alta, enquanto os poluentes saem da chaminé com direção noroeste, a geomorfologia faz o efeito de córrego, podendo transportar os poluentes.

Figura 10 - Modelo de elevação do terreno.



Fonte: USGS

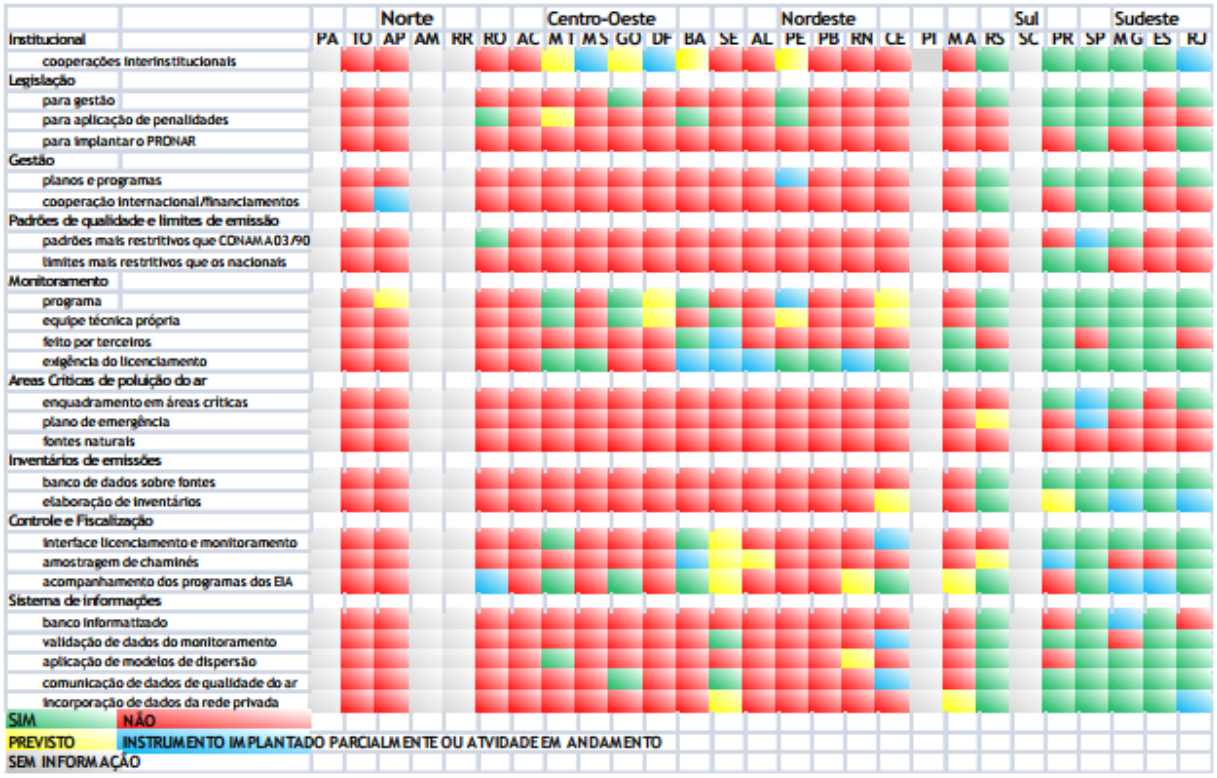
2.1.3. Legislação

Para descrever e analisar a área de estudo no seu contexto e da poluição atmosférica, é necessário fazer uma revisão da legislação que age dentro do respetivo espaço. Assim, dentro do marco da legislação ambiental, há normas para a poluição, no âmbito estadual e nacional. No caso da qualidade do ar, no Brasil existe o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR). Formalizado por meio da resolução do Conama de nº 05, de 15 de junho de 1989, em que se reconhece a "necessidade de um desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura" (MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE, 2017, p. 1) além de estabelecer as estratégias para a gestão da prevenção ou redução das emissões de poluentes atmosféricos.

De tal forma, as estratégias do PRONAR são: (i) limites máximos de emissão; (ii) adoção de padrões nacionais de qualidade do ar; (iii) prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar; (iv) Monitoramento da qualidade do ar; (v) gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição do ar; (vi) inventário nacional de fontes e poluentes do ar e (vii) Gestões políticas.

Para realizar o plano, compete ao IBAMA o gerenciamento do PRONAR, embora compete aos estados o estabelecimento e implementação dos programas estaduais de controle da poluição do ar.

Tabela 3 - Estágio de implementação dos instrumentos de gestão da qualidade do ar no Brasil.



Fonte: ministério do meio ambiente, 2017.

A tabela 3 mostra o estado da implementação no ano 2009. Na tabela é evidente a importância maior que se dá nos estados do sul e sudeste comparado com o resto do Brasil. Particularmente, Goiás tem aplicado os instrumentos do: monitoramento, a comunicação dos resultados e o acompanhamento dos estudos de impacto ambiental.

Como foi mencionado, no PRONAR (resolução Conama N°005/1989) se estabelecem padrões de qualidade do ar, que são classificados em dois: primários e secundários. “São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população[...]” (BRASIL, 1989 p.2), estabelecidos no plano, como metas a curto prazo. Por outro lado, os padrões secundários de qualidade do ar são “as concentrações de poluentes

atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora aos materiais e meio ambiente em geral[...]" (BRASIL, 1989, p.2), sendo considerada meta de longo prazo.

Junto com a classificação dos padrões de qualidade do ar, as áreas do território nacional são classificadas em três classes:

> Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.
> Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.
> Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade. (BRASIL, 1989, p.2)

Assim, na resolução Conama n° 03/1990 são estabelecidos formalmente os padrões primários e secundários como mostra a tabela a seguir.

Tabela 4 - Padrões nacionais de qualidade do ar.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu g/m^3$)	Padrão Secundário ($\mu g/m^3$)	Método de Medição
Partículas totais em suspensão - PTS	24 horas*	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA	80	60	
Fumaça	24 horas*	150	100	Refletância
	MMA	60	40	
Partículas inaláveis	24 horas*	150	150	Separação inercial / filtração
	MMA	50	50	
Dióxido de enxofre	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MMA	80	40	
Monóxido de carbono	1 hora*	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não-dispersivo
	8 horas*	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora*	160	160	Quimiluminscência
Dióxido de nitrogênio	1 hora	320	190	Quimiluminscência
	MMA	100	100	

* Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano.
MGA - média geométrica anual
MAA - média aritmética anual

Fonte: ministério do meio ambiente, 2017.

Para complementar o PRONAR, também é publicada a resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990. Esta "dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição". Corresponde às diretrizes para limitar as emissões

provenientes de fontes fixas ou estacionárias. Entendendo-se as fontes fixas por processo de combustão externa, “toda a queima de substâncias combustíveis realizados nos seguintes equipamentos: caldeiras; geradores de vapor; centrais para a geração de energia elétrica; fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica; incineradores e gaseificadores” (BRASIL, 1990b, p.1)

Essas fontes são divididas em “fontes fixas com potência nominal total igual ou inferior a 70 MW” e “fontes fixas com potência nominal total superior a 70 MW” (BRASIL, 1990b, p.2). Mesmo assim, os limites máximos são dependentes da área do local da fonte emissora, segundo as classes I, II e III da Resolução Conama n° 005/1989. Os parâmetros para estabelecer os limites são: partículas totais, densidade colorimétrica e dióxido de enxofre.

Neste marco legal, existem outras resoluções que fortalecem o PRONAR, algumas no âmbito dos veículos motorizados. A tabela a seguir mostra as resoluções que formalizam o PRONAR.

Tabela 5 - Legislação do ar no Brasil.

Resolução CONAMA	**Regulamenta**
Resolução no 05 de 15 de junho de 1989	**Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR.**
Resolução do Conama no 03, de 28 de junho de 1990	**Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.**
CONAMA Nº 008/1990	**Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.**
CONAMA Nº 382/2006	**Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**
CONAMA Nº 436/2011	**Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007**
CONAMA Nº 403/2008	**Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências.**
CONAMA Nº 415/2009	**Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências.**

Resolução CONAMA Nº 418/2009	**Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso**
CONAMA Nº 426/2010	**Altera o art. 4º e art. 5º, caput e §1º da Resolução CONAMA nº 418, de 2009, estabelecendo novos prazos para o Plano de Controle da Poluição Veicular e o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso**
CONAMA Nº 435/2011	**Altera a redação do art. 20 e do art. 33 da Resolução no 418, de 25 de novembro de 2009, alterada pela Resolução no 426, de 14 de dezembro de 2010, e regulamenta a entrada em vigor nos estados e nos municípios dos programas de inspeção e manutenção dos motociclos e veículos similares com motor do ciclo Otto de 4 tempos**
CONAMA Nº 451/2012	**Altera os limites de emissão da tabela 3 do Anexo I da Resolução nº 418, de 25 de novembro de 2009, que dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular-PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso-I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente**

Fonte: CONAMA

Até agora se revisou a legislação no âmbito nacional, que é conduzida pelo PRONAR. Mas, no âmbito estadual, existe também a legislação correspondente, formalizado pelo Decreto N° 1.745 de 06 de dezembro de 1979. Esse dispõe sobre “a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente". Essa disposição envolve poluição do solo, das águas e do ar, assim como também legislar as fiscalizações, licenciamentos, sanções e padrões de emissão e qualidade.

Segundo o decreto N° 1.745, “fica proibido o lançamento ou a liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo” (1979, p. 1). Em seguida, no decreto, há a explicação do que é considerado poluente: “todas e quaisquer formas de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo”. Logo especificando as características destes:

> Intensidade, em quantidade e de concentração em desacordo com os padrões de emissão [...] características e condições de lançamento ou liberação em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições[...] por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto [...] intensidade, em quantidade e de concentração ou com característica que, direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis ou padrões de

> qualidade [...] que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como as atividades normais da comunidade (GOIÁS, 1979, p.1).

Quanto à matéria da poluição do ar, o território do Goiás é dividido em 16 regiões de controle de qualidade do ar (RCQA), as que podem ser subdivididas e quando o valor máximo dos padrões de qualidade do ar é ultrapassado, considera-se zona saturada.

Das proibições e exigências, “fica proibida a queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou de qualquer outro material combustível, exceto mediante autorização prévia [...]” (GOIÁS, 1979 p.7) como também se proíbe a instalação e o funcionamento de incineradores em residências e prédios. Além disso, o órgão estadual competente poderá exigir equipamentos de medição nas fontes de poluição para monitorar as emissões, registrar e fiscalizar se for o caso.

Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo critério estadual para partículas em suspensão, óxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos são os que mostram as tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Padrões estaduais de qualidade de ar.

Poluente	Média anual	máxima diária
Partículas em suspensão	40 µg/m^3	120 µg/m^3
Óxido de enxofre	60 µg/m^3	200 µg/m^3
Máxima diária não deve ser excedida mais de uma vez por ano		

Fonte: Goiás, 1979.

Tabela 7 - Padrões estaduais de qualidade de ar (continuação).

Poluente	concentração máxima de 8 horas	concentração máxima horária
Monóxido de carbono	10 ml/m^3	40 ml/m^3
Oxidantes fotoquímicos	60 µg/m^3	120 µg/m^3

Concentrações não devem ser excedidas mais de uma vez por ano

Fonte: Goiás, 1979.

Segundo o decreto N°1.745 p.8, “A frequência de amostragem deverá ser efetuada no mínimo por um período de 24 (vinte e quatro) horas a cada 6 (seis) dias para dióxido de enxofre e partículas em suspensão e continuamente para monóxido de carbono e oxidante fotoquímicos” (GOIÁS, 1979, p.8), e os métodos de amostragem são os estabelecidos no regulamento ou os reconhecidos pelo órgão competente.

Complementando os padrões de qualidade, o Decreto N°1.745 regulamenta padrões de emissão para fontes estacionárias e veículos automotores a óleo diesel, considerando como parâmetro a densidade colorimétrica segundo a escala de Ringelmann. Além disso, considera as emissões odoríferas: “Fica proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidade que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora” (GOIÁS, 1979, p.8).

Quando há ocorrência de episódios críticos de poluição do ar, fica regulamentado o atuar, através do plano de emergência. “Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à sua dispersão” (GOIÁS, 1979, p.12). Estabelecem-se os níveis de atenção, alerta e de emergência, sendo o alvo dos níveis de atenção e alerta, evitar atingir o nível de emergência. Dessa forma, especifica-se os critérios para declarar estes níveis, em todos os casos considera-se as “condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes no período de 24 (vinte e quatro) horas” e quando “for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas” (GOIÁS, 1979, p.12):

Tabela 8 - Critérios para declarar emergência.

Poluente	**Período**	**Atenção**	**Alerta**	**Emergência**
Dióxido de enxofre (SO2)	média 24 horas	800 µg/m^3	625 µg/m^3	2100 µg/m^3
Material particulado	média 24 horas	375 µg/m^3	625 µg/m^3	875 µg/m^3

Dióxido de enxofre (SO2) x material particulado (µg/m^3)	média 24 horas	65x10m3	261x10 3	65x10m3
Monóxido de carbono (CO)	média 8 horas	17000 µg/m^3	34000 µg/m^3	46000 µg/m^3
Oxidantes fotoquímicos (ozona)	média 1 hora	200 µg/m^3	800 µg/m^3	1200 µg/m^3

Fonte: Goiás, 1979.

Corresponde à secretaria estadual da saúde declarar os níveis de atenção e alerta, enquanto o estado de emergência é declarado pelo governador do estado. Quando declarados os níveis, as fontes emissoras de poluição, na zona atingida, ficam restringidas de poluir ou funcionar sob diversas limitações com a finalidade de melhorar as condições de qualidade do ar.

Para o licenciamento das fontes emissoras de poluentes atmosféricos, no art. 77 do decreto N°1.745 p.16, especifica-se quais são consideradas como tais, entre as que se destaca as atividades industriais e “atividades que utilizem combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos para fins comerciais ou de serviços, excetuados os serviços de transporte de passageiros e cargas” (GOIÁS, 1979, p16).

No que se refere ao licenciamento, este deve cumprir com os requisitos estabelecidos no decreto estadual. Regulamenta-se o licenciamento para a instalação e para o funcionamento, em que se estabelece: “Não será expedida licença de instalação quando houver indícios ou evidências de que ocorrerá lançamento ou liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo” (GOIÁS, 1979, p. 17). Enquanto a licença de funcionamento, estas não serão disponibilizadas “[...] quando não tiverem sido cumpridas todas as exigências feitas por ocasião da expedição da licença de instalação, ou quando houver indício ou evidência de liberação ou lançamento de poluentes nas águas, no ar ou no solo” (GOIÁS, 1979, p. 17).

Na parte da retórica fica razoável a preocupação pela poluição no marco legislativo. Na presente pesquisa, quer-se propor a modelagem ambiental como apoio para a tomada de decisão no planejamento da colocação das fontes de emissão e o fornecimento das licenças.

2.2. Metodologia: modelamento de dispersão de poluentes atmosféricos de fonte fixa

Uma vez emitidos, os poluentes são transportados no ambiente. O transporte das partículas é dinâmico, dependendo de fatores diversos. Tais fatores podem ser classificados em dois: propriedades do poluente e condições ambientais. As propriedades do poluente, tais como temperatura no momento da emissão, peso, tamanho molecular, densidade, e até a reatividade podem determinar a viagem dos poluentes através da atmosfera. Por outro lado, as condições ambientais podem ser estáticas, como o relevo, cuja mudança é baixa ou nula através do tempo, porém, as condições ambientais podem mudar em um instante, no caso do tempo meteorológico.

"São as condições atmosféricas que determinam prioritariamente a dispersão de poluentes no ar" (VESILIND e MORGAN, 2011 p. 313). A turbulência tem um papel importante para a dispersão e, quando se refere à poluição, ela é tratada como estabilidade atmosférica. Segundo Vesilind e Morgan (2011), condições de gradientes de temperatura superadiabáticas, apresentam muitos movimentos verticais do ar e turbulência, potencializando a dispersão. A prevalência de condições subadiabáticas, por outro lado, resulta em um sistema muito estável. Cabe mencionar a inversão, cuja condição é subadiabática extrema, e o movimento vertical do ar é quase nulo (VESILIND e MORGAN, 2011).

É evidente que o transporte de poluentes é determinado, sobretudo, pelos ventos. Os ventos apresentam um padrão climatológico determinado pelas condições ambientais do lugar e os processos atmosféricos predominantes. Esses "fenômenos atmosféricos" são explicados pela Meteorologia e fundamentados na Física. O transporte de poluentes também corresponde a um fenômeno físico e estudiosos da disciplina têm explicado e simulado o processo de dispersão através da linguagem matemática, uma vez que "a teoria de fenômenos de transporte, tratada pela mecânica dos fluidos, possibilita estudar esse fenômeno" (BRAGA et al, 2005 p.184).

Na atualidade, por meio das técnicas computacionais, é possível conseguir modelos muito aproximados da dispersão de poluentes, provenientes de diferentes fontes, como indústrias, tráfego veicular ou acidentes de derramamento de substâncias perigosas, como material radioativo. Para isso, há softwares que agilizam o processo de simulação eficientemente. Infelizmente, a disponibilidade desta

ferramenta é relativamente baixa, muito escassa se se compara com outros softwares comuns, e a equação de dispersão ainda não é inclusa como função nos principais GIS. Por conta do caminho metodológico, instou a busca de alternativas econômicas para a modelagem. Comparando o modelamento aqui utilizado, na atualidade pode-se encontrar modelos mais aproximativos e representativos, contudo, é uma alternativa econômica e eficaz quando acompanhado da análise rigorosa, contemplando as considerações matemáticas e as ambientais do modelamento.

A modelagem de dispersão varia pelo raciocínio matemático usado na construção do modelo, embora sempre precise dados de entrada, tais como:

- Condições meteorológicas: direção do vento, velocidade do vento, temperatura ambiente, cobertura de nuvens, radiação solar ou a turbulência que é caracterizada como classificação de estabilidade atmosférica;
- Taxa de emissão ou vazão da emissão do poluente e a sua temperatura;
- Características da fonte, localização, altura da chaminé, fonte estacionária ou móvel;
- Tipo de terreno, rugosidade do terreno, obstruções tais como construções e sua localização.

Pela viabilidade, determinou-se o uso da equação de dispersão gaussiana de poluentes atmosféricos. A solução para tal equação é obtida pelo meio do software de cálculo numérico ‘Matlab’. Assim, é possível construir a equação através de linguagem de programação e mudar as variáveis facilmente obtendo os resultados da equação em poucos minutos. A solução da equação é expressa como um gráfico no plano cartesiano, com ‘x’ e ‘y’ em metros. A resolução que pode ser alterada é de 2500m², quer dizer, cada pixel representa uma área de 50 x 50m e uma concentração de poluente expressa em μg/m³. A imagem gerada é georreferenciada no GIS para a análise superposta junto com a imagem de satélite, o modelo de elevação, ou qualquer outra informação geográfica pertinente.

2.2.1. Modelo de dispersão gaussiana

O modelo de dispersão é uma descrição matemática do processo de transporte dos poluentes, o resultado são cálculos numéricos de estimação da concentração de um poluente particular em um área e tempo específicos (DAVIS & CORNWELL, 2008). O interesse em modelar o transporte e dispersão dos poluentes, provém da avaliação de impactos ao meio ambiente e à saúde pública decorrente da operação normal e acidental de fontes de poluição.

No caso de uma fonte poluindo a atmosfera constantemente, os poluentes vão ser transportados pelo ar, resultando na formação de uma pluma. A difusão da pluma acontece no largo e no alto. A equação de dispersão da pluma gaussiana “resulta da integração analítica da equação de transporte” quando se assumem algumas “hipóteses simplificadoras”:

> O vento tem intensidade, direção e sentido constantes, o terreno é liso, a carga poluidora é pontual e constante, a difusão turbulenta na direção do vento é desprezada em função da maior importância da advecção nessa direção, os coeficientes de difusão turbulenta nas outras direções também são constantes e não existe perda de material poluidor por qualquer mecanismo físico, químico e biológico” (BRAGA et al., 2005 p. 187).

Essas hipóteses são muito importantes de considerar no momento da análise dos resultados. É importante destacar que, segundo Braga et al (2005 p. 187), “as variáveis meteorológicas podem ser extremamente influenciadas por fatores locais como a presença de edificações e de relevo, os quais podem gerar caminhos preferenciais para o escoamento do ar”.

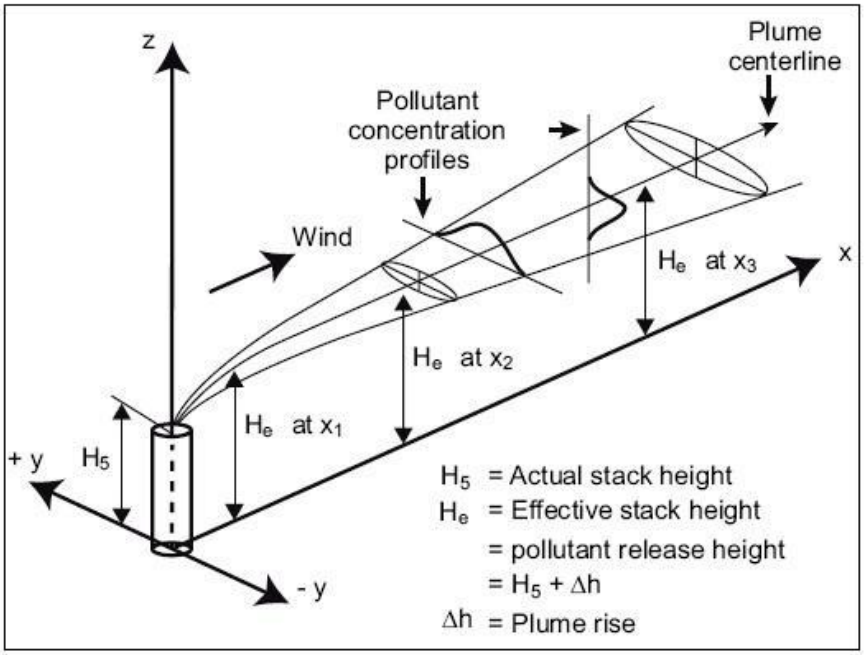
Assim, no modelo gaussiano, a concentração ‘C’ em qualquer ponto (x,y,z) é dada por:

Equação 1

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

Onde Q é a vazão de emissão do poluente em g/s, U a velocidade de ventos, onde x, y e z a direção do vento, o vento lateral e a distância vertical correspondentemente, e H é a altura da chaminé mais a da pluma. Os parâmetros σ_y e σ_z correspondem ao desvio padrão das concentrações horizontais e verticais na pluma respetivamente. Quando y = z = 0, a equação se refere às concentrações ao nível do solo no centro da pluma.

Figura 11 - Modelo de dispersão gaussiana.



Fonte: disponível em: <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecrrb/dispersion/index5.html> acesso em 20 jan. 2018.

O desvio padrão σ_y e σ_z é determinado pela estabilidade atmosférica. Para tais efeitos, é usada a classificação de estabilidade atmosférica “Pasquill Gifford” onde se obtém os coeficientes equivalentes.

Tabela 9 - Classificação da estabilidade atmosférica Pasquill Gifford.

Class	Definition
A	Extremely unstable
B	Moderately unstable
C	Slightly unstable
D	Neutral
E	Slightly stable
F	Moderately stable

Fonte: disponível em: <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecrrb/dispersion/index5.html> acesso em 20 jan. 2018.

2.3. Procedimentos Operacionais

A equação de pluma gaussiana apenas simula a dispersão dos poluentes e não o comportamento meteorológico. Para isto, existem softwares de pré-processamento dos dados meteorológicos para posteriormente incluir esses dados como inputs no modelamento. Também há softwares de modelamento da dispersão que incluem esse processamento meteorológico. Para essa pesquisa, optou-se pelo software livre "WRPLOT View", desenvolvido por "*Lakes Environmental*" que desenvolve softwares de modelamento de dispersão atmosférica segundo os padrões da USEPA.

Os fatores meteorológicos de interesse para o modelamento são: Predominância da direção dos ventos, da velocidade e estabilidade atmosférica. A direção do vento é necessária para dar orientação à pluma modelada, a velocidade é um dado de entrada da equação e a estabilidade atmosférica define o desvio padrão na equação.

Para processar os dados no "WRPLOT View" é necessário o uso dos dados da estação meteorológica mais próxima da fonte de poluição. Determinou-se o uso dos dados da estação meteorológica automática do INMET localizada próximo do aeroporto de Goiânia (latitude: -16.642841º, longitude: -49.220222º e altitude: 727 metros). Os dados ingressados são direção, velocidade e precipitação. Cabe assinalar que para o ano 2012, aconteceu uma falha na mensuração dos dados, por consequente, está disponibilizado um 77,35% dos dados do ano.

Quando providenciadas as informações necessárias para funcionar o modelo, é feito no "*Matlab*" o processamento da equação para a obtenção dos primeiros

resultados. A equação de pluma gaussiana foi programada no "*Matlab*" por Connolly (2014), onde agilmente pode-se manipular o comportamento do modelo segundo os valores das variáveis ingressadas.

Tabela 10 - Variáveis da equação programada por Connolly 2014.

Variable	Description
RH	Relative humidity of the air
aerosol type	Composition of aerosol particles considered
dry size	Dry diameter of aerosol particles assumed
humidify	Flag to decide whether to grow the aerosol (Kohler equations)
stab1	Vertical stability parameter—set from 1 to 6
stability used	Run using a set stability or an annual cycle
output	How to output results
x slice	If outputting a vertical slice plot along this position
y slice	If outputting a time-series plot at x slice and this position
wind	Assumption for input wind field
stacks	Whether to have 1, 2 or 3 stacks
stack x	x-position of each stack (m)
stack y	y-position of each stack (m)
Q	Mass in grams s^–1 emitted from each stack
H	Height (m) of each stack
days	Model run-time in days
wind_speed	Velocidade do vento
wind_dir	Direção do vento

Fonte: Conolly, 2014.

Cabe assinalar que a tabela 10 inclui variáveis para realizar outros tipos de cálculo na mesma plataforma. Para calcular o alcance da dispersão dos poluentes, são utilizadas algumas dessas variáveis:

Q: Considerando a disponibilidade dos dados, a taxa de emissão corresponde a um valor anual. Essa pesquisa não pode ser possível sem a informação das emissões. Elas podem ser também calculadas baseado no consumo e tipo de combustível utilizado nos processos da chaminé. Nas legislações mais protecionistas do meio atmosférico, são utilizados inventários de emissões para gerenciar a qualidade do ar. No Brasil não se promove a declaração de emissões a nível nacional, deixando essa ferramenta a critério estadual (IEMA, 2014).

O valor para Q nesta pesquisa foi fornecido através do inventário de emissão declarado voluntariamente (2012 e 2013) pela Indústria e disponibilizado ao público

pelo site de internet. No valor declarado no ano 2012 (619 toneladas/ano de CO_2e= Q = 19,5747g/s) se desconhece qual é a distribuição das emissões durante o ano, por conseguinte, a simulação da dispersão dos poluentes vai representar uma aproximação média da dispersão do CO_2e do ano 2012. O CO_2 não corresponde a um bom indicador da poluição troposférica pela sua transformação química na atmosfera, é um indicador em razão à proporção de outros poluentes emitidos junto com estes.

stab1: Mencionado anteriormente, esta variável vem da tabela de estabilidade atmosférica Pasquill Gifford. Corresponde ao desvio padrão, cuja importância é refletida na forma da dispersão. “Condições atmosféricas instáveis apresentam um desvio padrão que rapidamente incrementa a favor do vento, por outro lado, condições atmosféricas estáveis têm desvio padrão que mantém o vento a favor baixo” (CONNOLLY, 2014). A estabilidade é classificada em 6 categorias (A-F). O modelo aqui utilizado permite simular para cada condição atmosférica específica, criando um retrato para cada cenário particular.

Stabilityused: Simulando a estabilidade atmosférica para cada cenário, assume-se que é constante para o tempo todo. Na realidade isso não acontece, a estabilidade atmosférica muda constantemente segundo a hora ou a estação. Segundo Connolly (2014), “massas de ar instáveis são mais susceptíveis durante a tarde e no verão. Por outro lado, massas de ar estáveis são mais susceptíveis durante a noite e no inverno ”. Mas, como retratar o comportamento da dispersão nas mudanças cotidianas? Determinou-se classificar as estabilidades segundo a tabela 11 para os dados meteorológicos horários, assim saber quantas horas repete-se cada estabilidade atmosférica dentro do recorte temporal.

Tabela 11 - Diretrizes para determinar as classes de estabilidade atmosférica Pasquill Guifford.

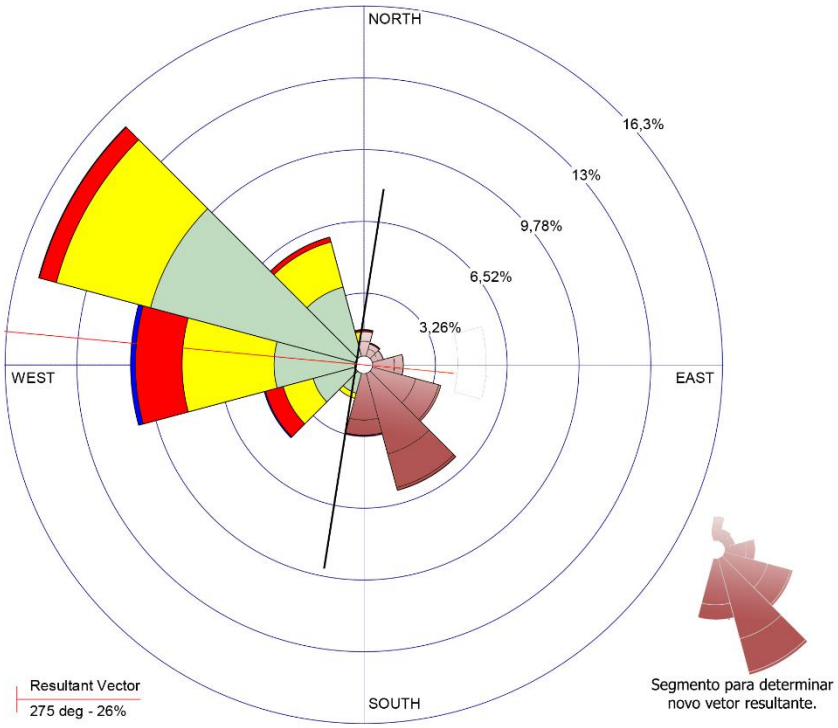
	Day with insolation			Night	
Surface wind speed (ms^{-1})	Strong	Moderate	Slight	Overcast or $\geq 4/8$ low low cloud	$\leq 3/8$ cloud
2	A	A–B	B	–	–
2–3	A–B	B	C	E	F
3–5	B	B–C	C	D	E
5–6	C	C–D	D	D	D
6	C	D	D	D	D

Fonte: disponível em: <http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecrrb/dispersion/index5.html> acesso em 20 jan. 2018.

Wind: O vento também não é estático, ele varia constantemente, consequentemente, Connolly inclui a variável do tipo do vento. Classificada em 3 possíveis cenários: vento constante, vento oscilante e vento prevalente.

Wind_dir: O modelo é orientado em uma ou mais direções, dependendo da distribuição da direção do vento do recorte temporal. Primeiramente, a direção do vetor resultante e depois as direções necessárias para uma melhor representação.

Figura 12 - Exemplo para determinar orientações no sistema.



Elaborado pelo autor.

Wind_speed: Para a direção maiormente predominante a velocidade média do ano (U=1,43 m/s). Para a direção menos predominante, a velocidade média do segmento (figura 12).

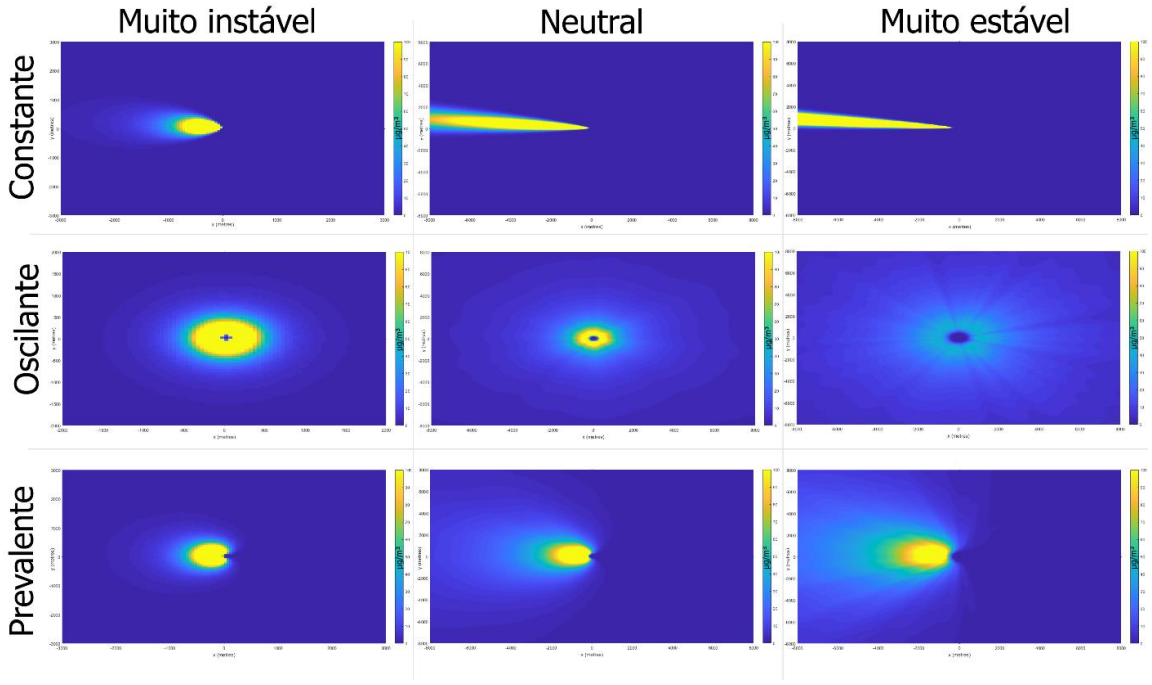
Output: Permite conhecer os resultados em uma seção horizontal (x, z) ou em vista de planta (y, x).

H: Altura efetiva da chaminé.

2.3.1. Integração das imagens para definir uma área de alcance suscetível à dispersão do ano 2012

O modelo tem muitas variáveis que assumem fatos que nem sempre tem esse comportamento na realidade. Para diminuir esse efeito, as variáveis devem ser bem formuladas e os resultados analisados considerando esses detalhes. Para compreender melhor a dispersão, simulou-se a dispersão do contaminante emitido no ano de 2012 para a combinação de cenários da figura 13.

Figura 13 - Simulação explicativa.



Elaborado pelo autor.

As considerações e os parâmetro para construir a simulação da figura 13 são:

Tabela 12 - Parâmetros da figura 13

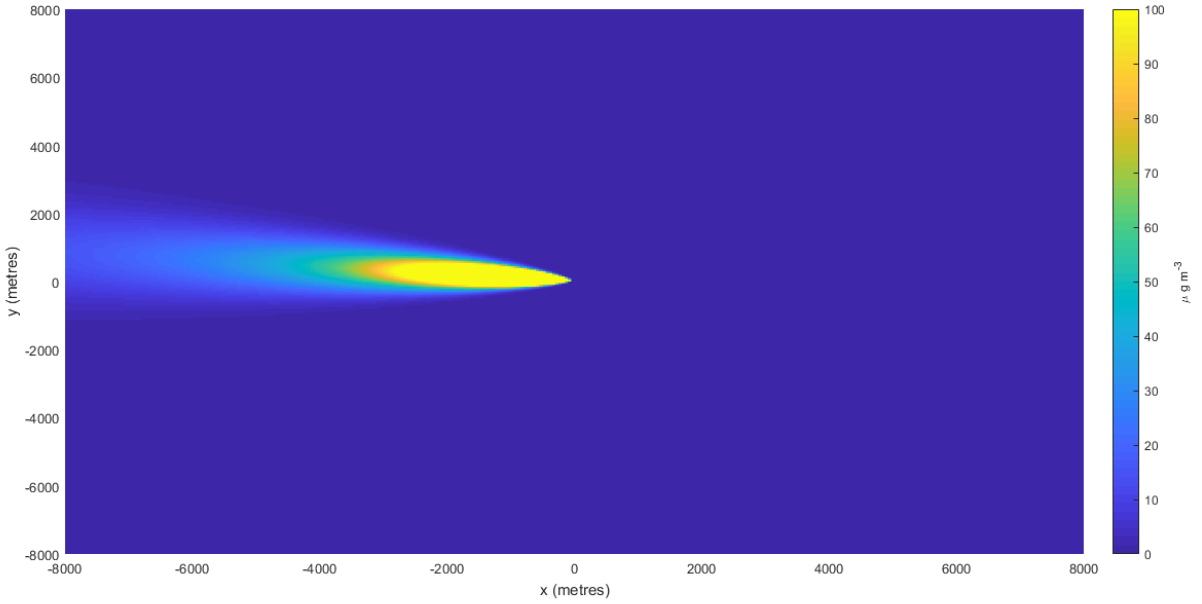
Q:	19,5747 g/s
H:	23,76 m
wind_speed:	1,43 m/s
wind_dir (orientação):	275°
stabilityused:	Estabilidade constante, quer dizer, cada imagem da figura representa a estabilidade atmosférica sem mudanças dentro do recorte temporal.
Stab1:	Estabilidade atmosférica segundo a classificação Pasquill Gifford. Na figura 13 no eixo horizontal muito estável, neutral e muito instável.
Wind:	No eixo vertical vento constante, oscilante e prevalente.
Output:	Vista de planta
Norte:	0° em sentido horário

Elaborado pelo autor.

Cada imagem dentro da figura 13 representa, hipoteticamente, a dispersão do ano 2012 com as condições meteorológicas e a taxa de emissão de aquele ano, sob as condições refletidas nos parâmetros ingressados. É difícil ler esses resultados considerando que cada caso teria uma frequência diferente e também de que os ventos poderiam ter mais orientações.

O vento constante, corresponde ao vento que vai na mesma direção, por outras palavras, é unidirecional durante o período de tempo modelado. Logicamente, isso não acontece durante o tempo todo, o exercício aqui é comparar o comportamento da dispersão. Quando o vento é constante, os poluentes tendem a ser transportados maiores distâncias em função do aumento da estabilidade, também se concentra na linha central da pluma.

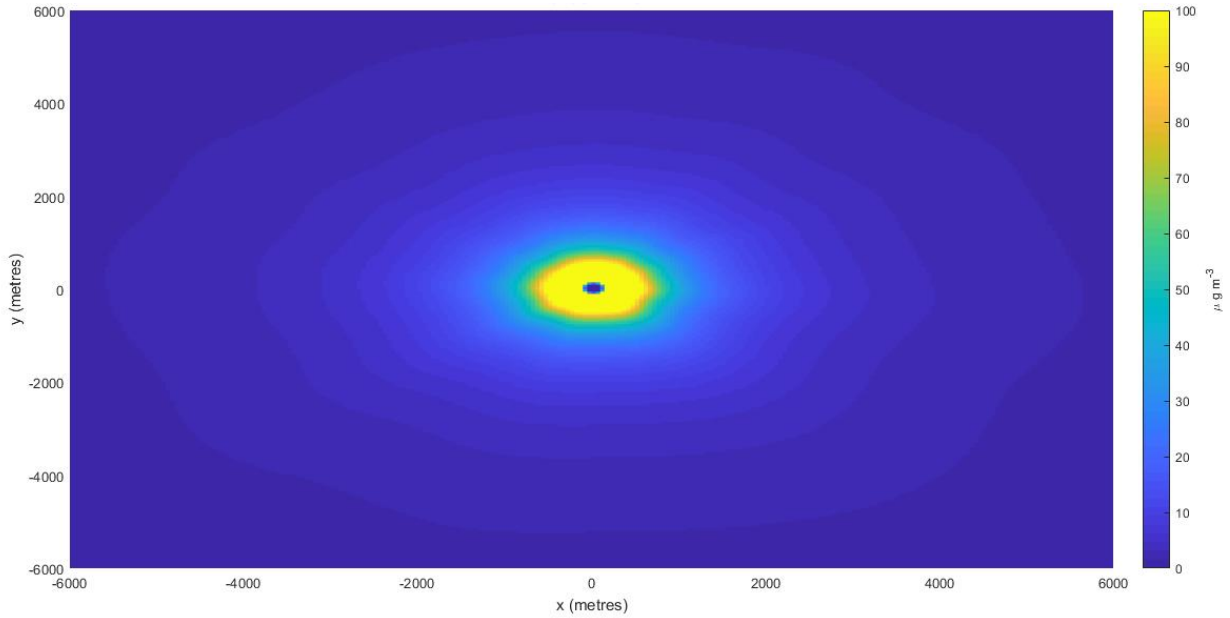
Figura 14 - Vento constante.



Elaborado pelo autor.

Ventos oscilantes apresentam alterações bruscas em todas direções. De fato, o vento na troposfera pode ser oscilante, mas nem sempre em todas direções. A distribuição dos ventos do recorte temporal apresenta uma tendência na direção do vento, predominando a direção oeste (276°) e depois na direção sudeste. Em alguns casos, os ventos oscilantes poderiam explicar a ocorrência de ventos aleatórios em direções diferentes da predominante.

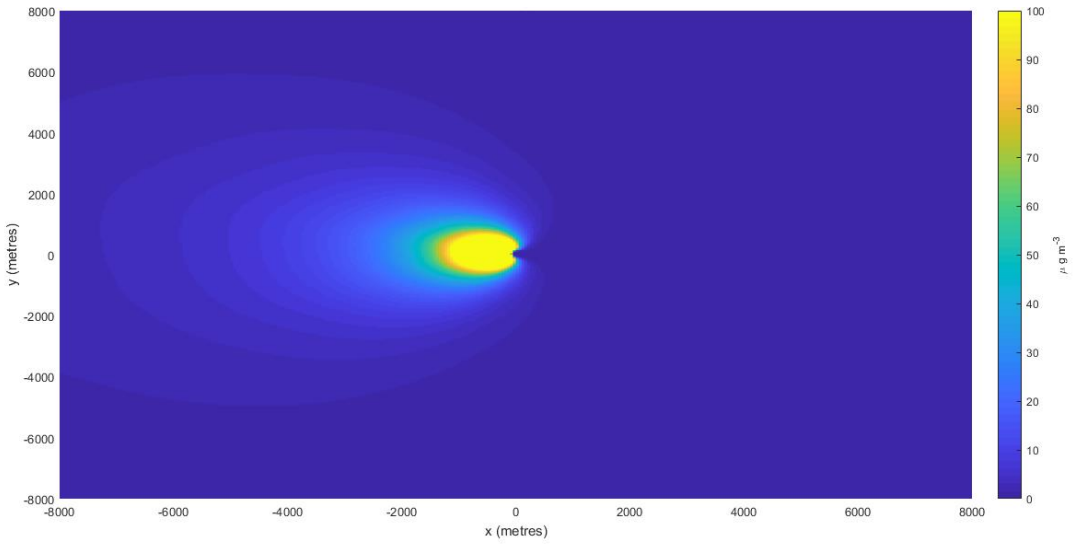
Figura 15 - Vento prevalente.



Elaborado pelo autor.

O vento prevalente é aquele que apresenta uma direção predominante, mas não unidirecional. Comparado com o gráfico dos ventos do recorte temporal, a distribuição é de forma similar, pelo que esta representação pode-se aproximar melhor ao acontecido no recorte temporal, mas também há a presença de ventos que arrastam os poluentes em outras direções.

Figura 16 - Vento prevalente.



Elaborado pelo autor.

A análise anterior é necessária para entender a simulação feita para encontrar o alcance e susceptibilidade da presença de poluentes emitidos no ano de 2012. Para construir uma simulação que retrate melhor a dispersão da fonte de emissão, propõe-se:

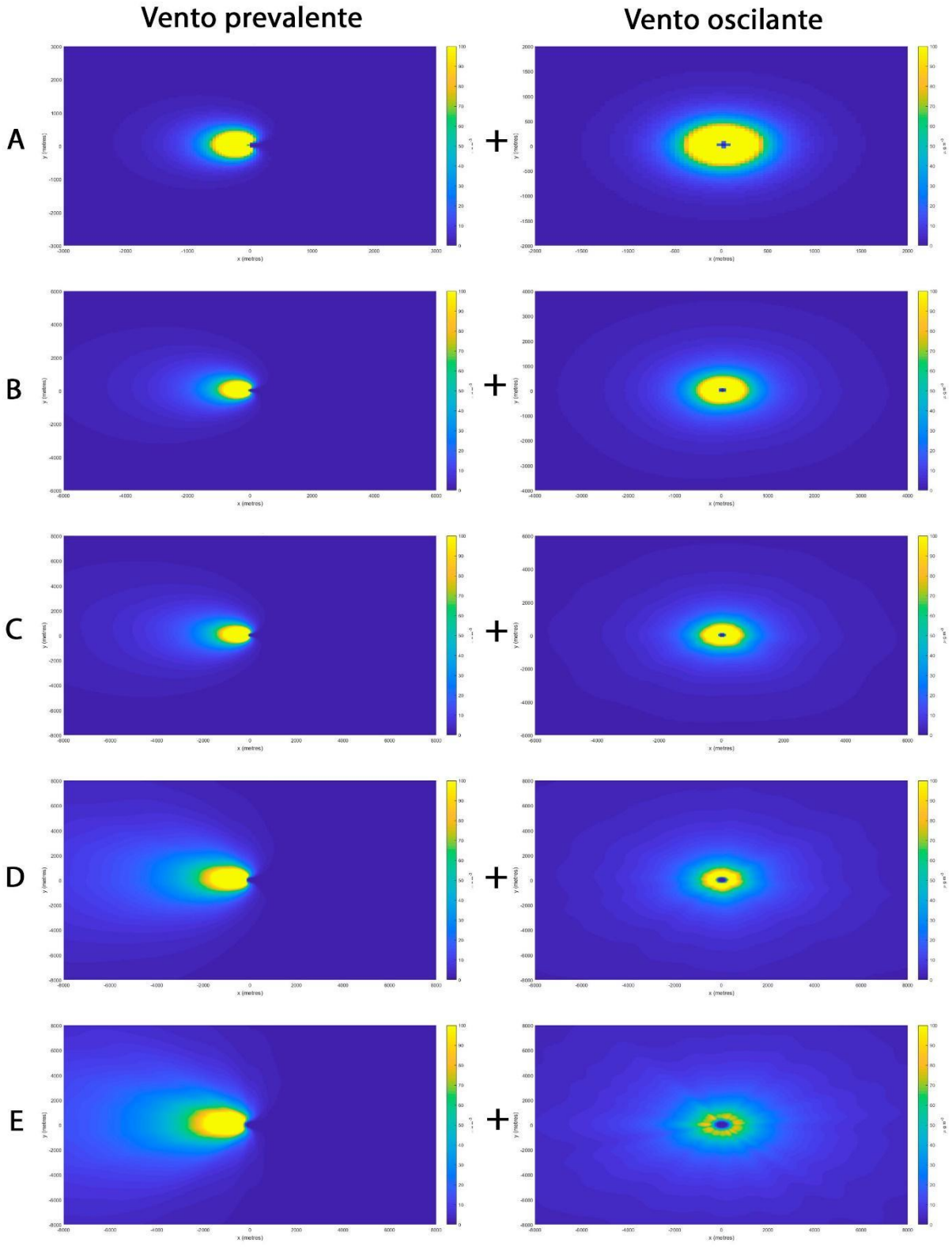
- A orientação do modelo deve ser em uma ou mais direções, segundo a distribuição dos ventos do recorte espaço-temporal, utilizando a velocidade média de cada direção preestabelecida;
- Os dados meteorológicos horários são classificados segundo a estabilidade atmosférica para assinalar uma frequência a cada imagem modelada;
- As imagens são processadas em GIS, primeiramente georreferenciados, após integradas, sobrepostas ou vetorizadas segundo os critérios para ajustar a simulação para ser mais representativa.

2.4. Resultados

2.4.1. Modelagem dos dados anual

Para representar os dados anuais determinou-se usar imagens modeladas para cada estabilidade atmosférica, na direção do vetor resultante com ventos prevalentes e na parte contrária ventos oscilantes, as imagens foram georreferenciadas, sobrepostas e vetorizadas nas áreas denominadas susceptíveis ao alcance dos poluentes. A distribuição das estabilidades se exibe na tabela 13. Cabe mencionar que, para as estabilidades ‘D’ ‘E’ e ‘F’, predominantes do período noturno, não se conta com os dados meteorológicos, especificamente de radiação para determinar sua frequência acertadamente, assim como para a estabilidade D que se assume sempre que estiver muito nebuloso (TURNER, 1969).

Figura 17 - Resumo da integração das imagens.



Elaborado pelo autor.

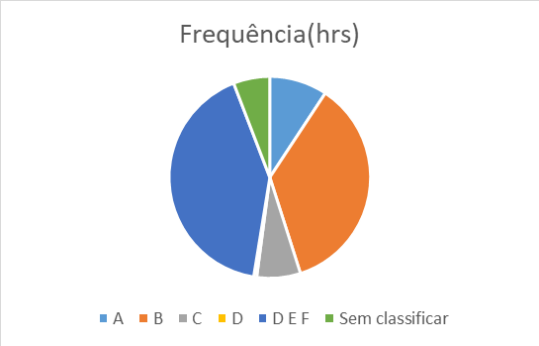
Os cenários aqui apresentados não expressam a formação da dispersão no decorrer do ano todo, aliás, quando a operação normal das chaminés atinge a taxa de emissão Q do ano 2012, por determinado período de tempo, é nesse período que a dispersão poderia ter um comportamento similar à de cada cenário de estabilidade atmosférica quando corresponda, determinado pelas condições meteorológicas da tabela 11.

Tabela 13 - Distribuição das estabilidades 2012.

Período	Estabilidade	Frequência(hrs)
Diurno	A	817
	B	3142
	C	617
	D	42
Noturno	D E F	3652
	Sem classificar	514
	Total	8784

Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Gráfico da distribuição das estabilidades 2012.

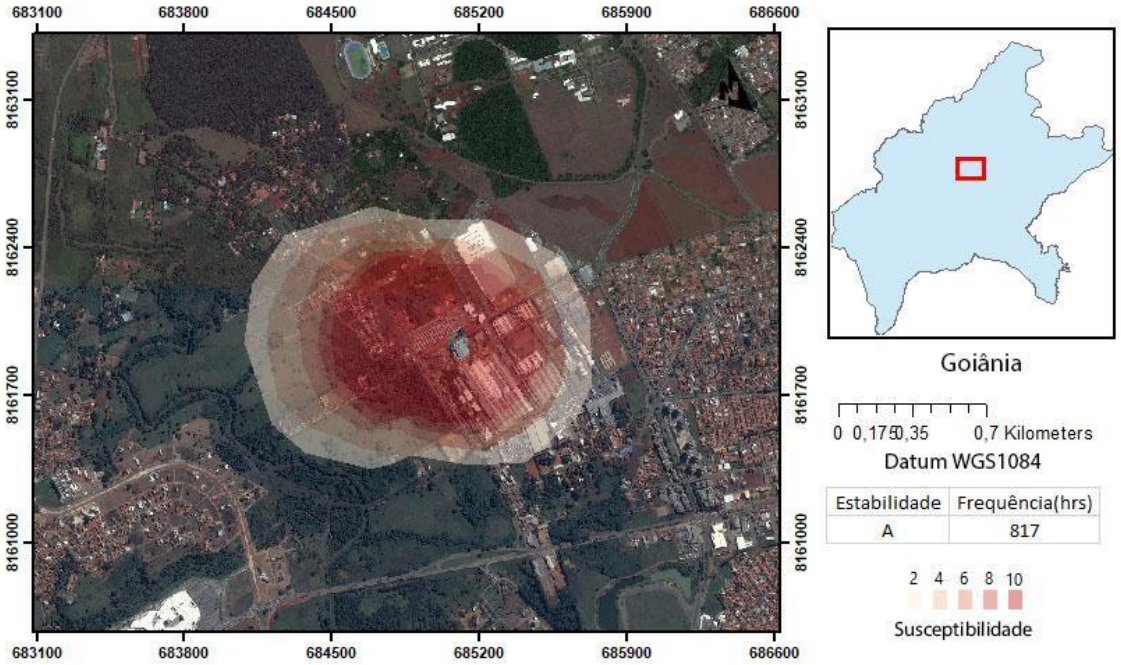


Elaborado pelo autor.

A figura 19 mostra o cenário para quando a estabilidade atmosférica é muito instável, com uma frequência de 817 horas durante o 2012, que por ser bissexto, tem um total de 8784 horas. Observa-se que, com a atmosfera muito instável, o alcance da pluma gerada pelas chaminés é menor quando comparado com atmosferas mais estáveis. Este cenário (figura 19) possui um alcance de raio menor que 1 km para áreas muito susceptíveis à emissão das chaminés. A figura 20 tem a maior frequência de ocorrência no horário diurno e poderia ser um cenário que reflita melhor o alcance da pluma quando a operação das chaminés é normal com taxa de emissão Q próxima

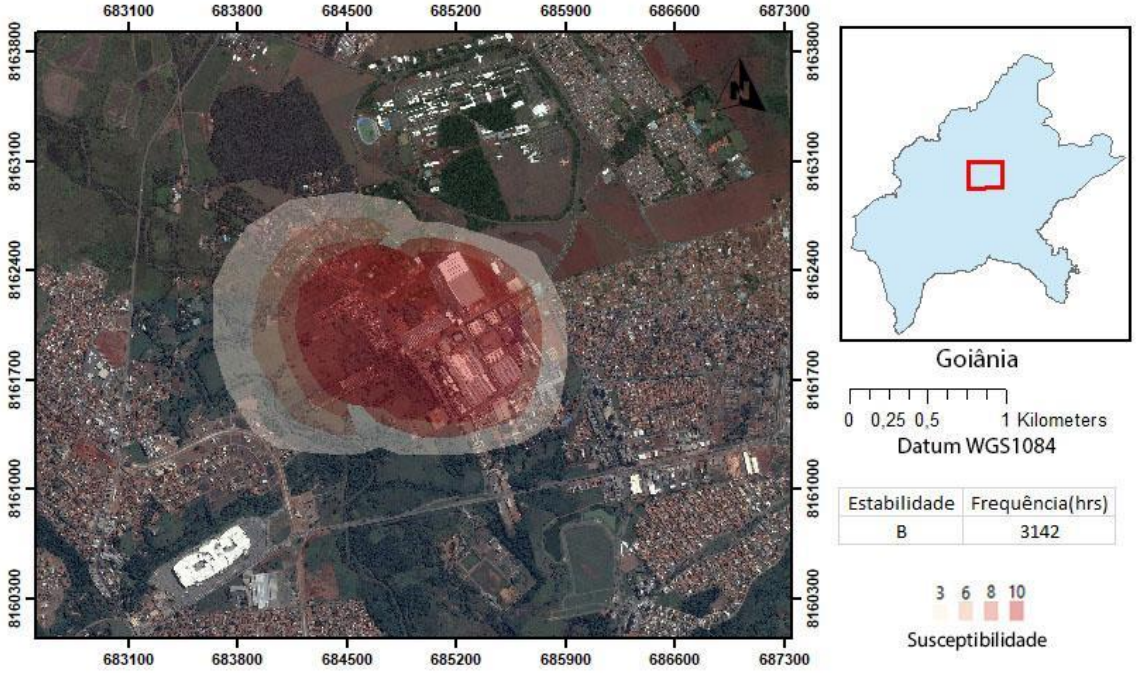
ao valor declarado e condições meteorológicas de velocidade e direção do vento normais.

Figura 19 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa 2012, atmosfera muito instável.



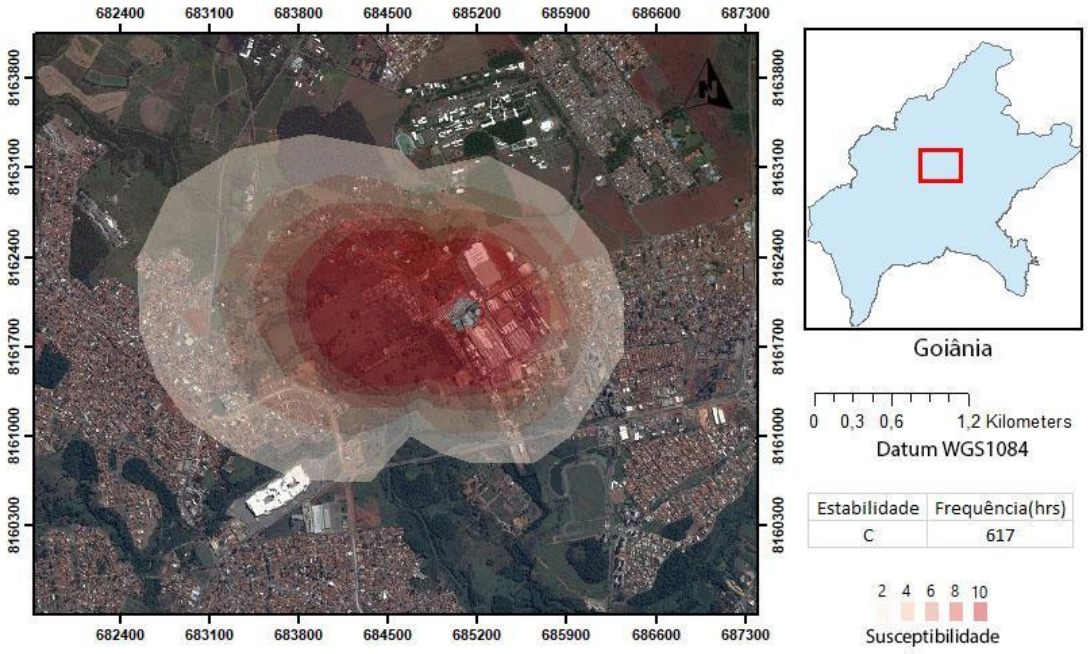
Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa 2012, atmosfera moderadamente instável.



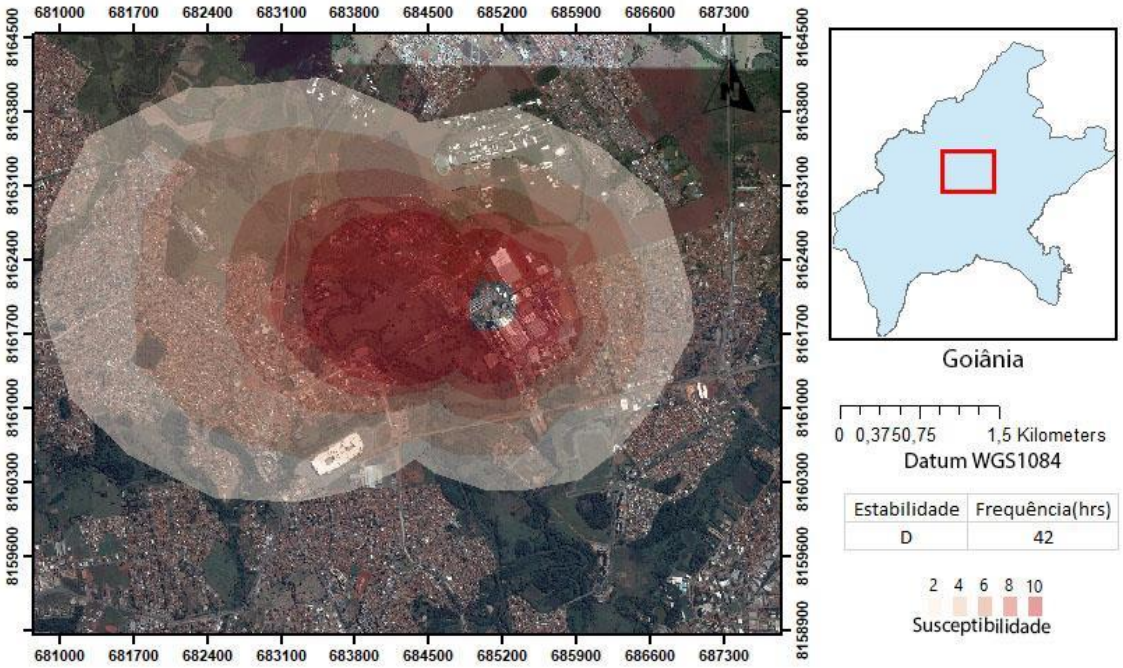
Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa 2012, atmosfera pouco instável.



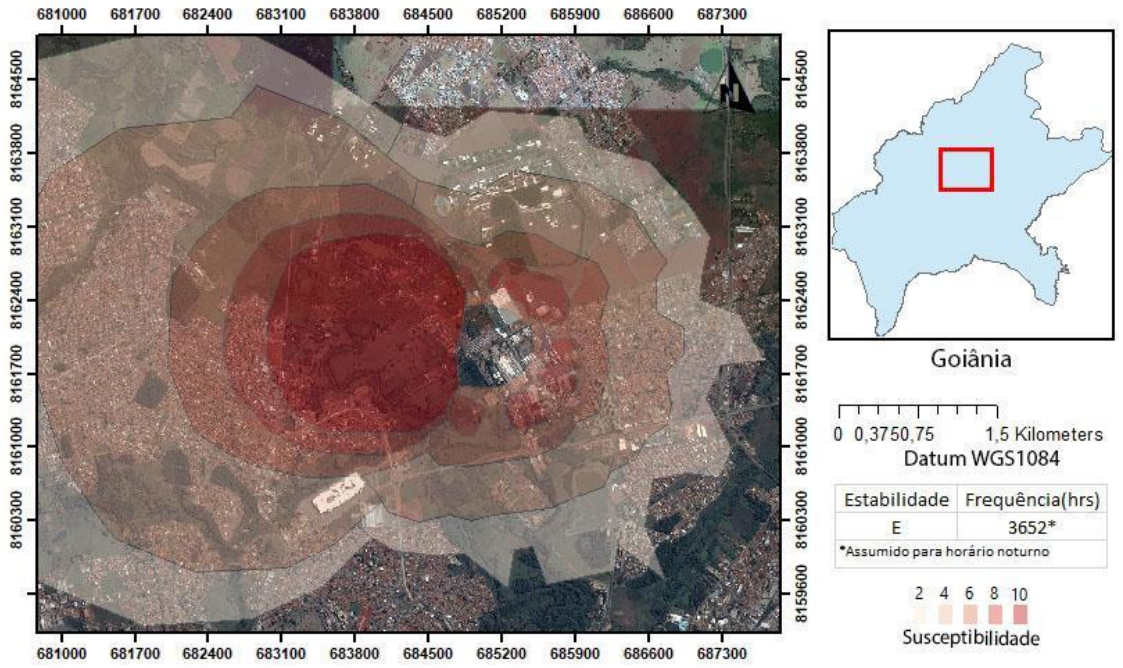
Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa 2012, atmosfera neutral.



Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa 2012, atmosfera estável.



Elaborado pelo autor.

Como mencionado anteriormente, observa-se um aumento progressivo do alcance da chaminé quando a estabilidade aumenta. No período noturno as estabilidades comuns são ‘D’ ‘E’ e ‘F’, mas como não se conseguiu classificar esse período segundo a tabela 11, assumiu-se as horas noturnas como frequência para E, considerando o ponto médio das 3 estabilidades (D, E e F), embora a frequência deveria estar distribuída nas 3 estabilidades quando é noite.

Notoriamente, o alcance da emissão atmosférica da fonte de emissão fixa é maior em presença de atmosferas estáveis. No estudo de caso, observa-se que áreas residenciais podem ser atingidas pela emissão, mas na área mais suscetível da emissão alta, a área residencial é muito menor, e apresenta uma geomorfologia de fundo de vale que, pelo efeito de corredor, deveria funcionar como um mecanismo de defesa e arrastar os poluentes antes de atingir áreas residenciais com maior suscetibilidade.

2.4.2. Modelagem dos dados sazonal

Para melhorar a representação do alcance da fonte de emissão com os dados de 2012, determinou-se modelar as emissões do ano dividido em dois: estação seca e estação das chuvas. A taxa de emissão usada foi a mesma do ano 2012, embora é possível que a taxa seja diferente pela intensificação da produção em determinado período do ano. Contudo, os dados meteorológicos mostram que o comportamento dos ventos é diferente para os dois períodos do ano (FIGURA 8). O alcance das emissões poderia ser determinado de melhor forma analisando períodos de tempo específicos. Lembrando que aqui se considera o período seco de maio até setembro e o período das chuvas nos meses restantes.

Desta forma, a distribuição da estabilidade atmosférica mostra uma maior quantidade de horas de estabilidade B para o período diurno em ambas as estações (tabela 14 e 15).

Tabela 14 - Distribuição das estabilidades na estação seca.

Período	Estabilidade	Frequência(hrs)
Diurno	A	223
	B	1253
	C	329
	D	26
Noturno	D E F	1533
	Sem classificar	310
	Total	3674

Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Distribuição das estabilidades na estação das chuvas.

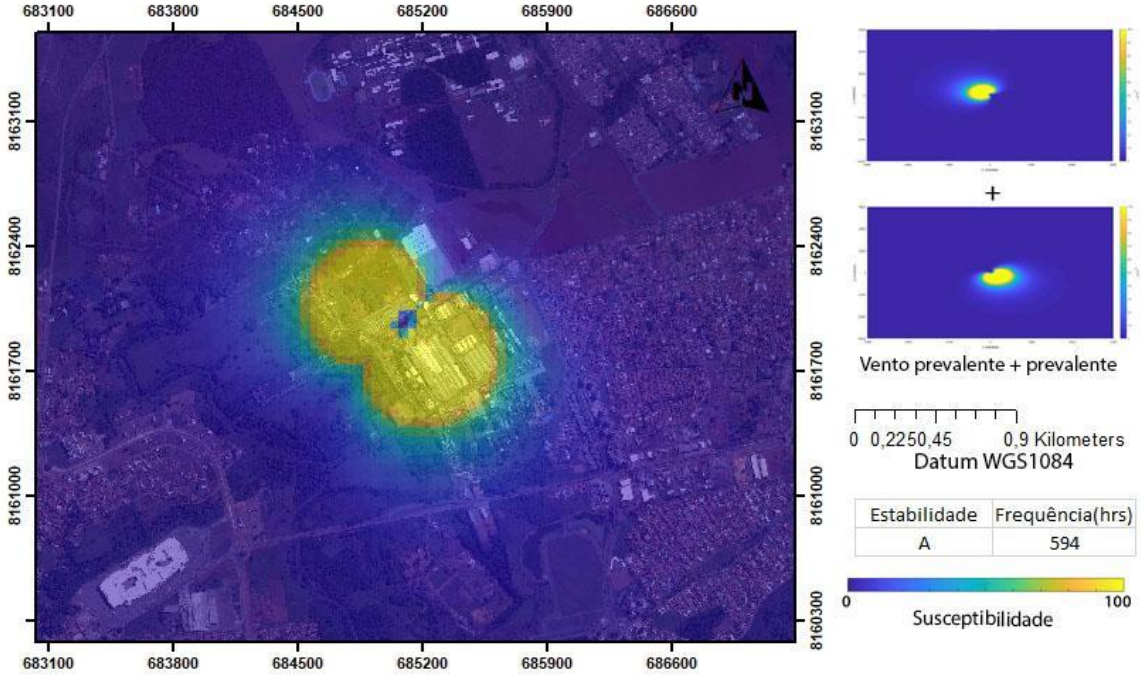
Período	Estabilidade	Frequência(hrs)
Diurno	A	594
	B	1889
	C	288
	D	16
Noturno	D E F	2119
	Sem classificar	204
	Total	5110

Elaborado pelo autor.

Em primeiro lugar, mostra-se o modelamento da estação das chuvas. Pelas caraterísticas dos ventos, com tendência bidirecional, optou por ser representado por ventos prevalentes em ambas as direções. Desta vez, as imagens foram cortadas pela linha que separa ambos os vetores simetricamente, georreferenciada e sobreposta na imagem de satélite. O alcance de ambas as direções muito dificilmente poderia ir nos dois sentidos simultaneamente, a imagem representa o ponto máximo de alcance para o recorte temporal do período de chuvas.

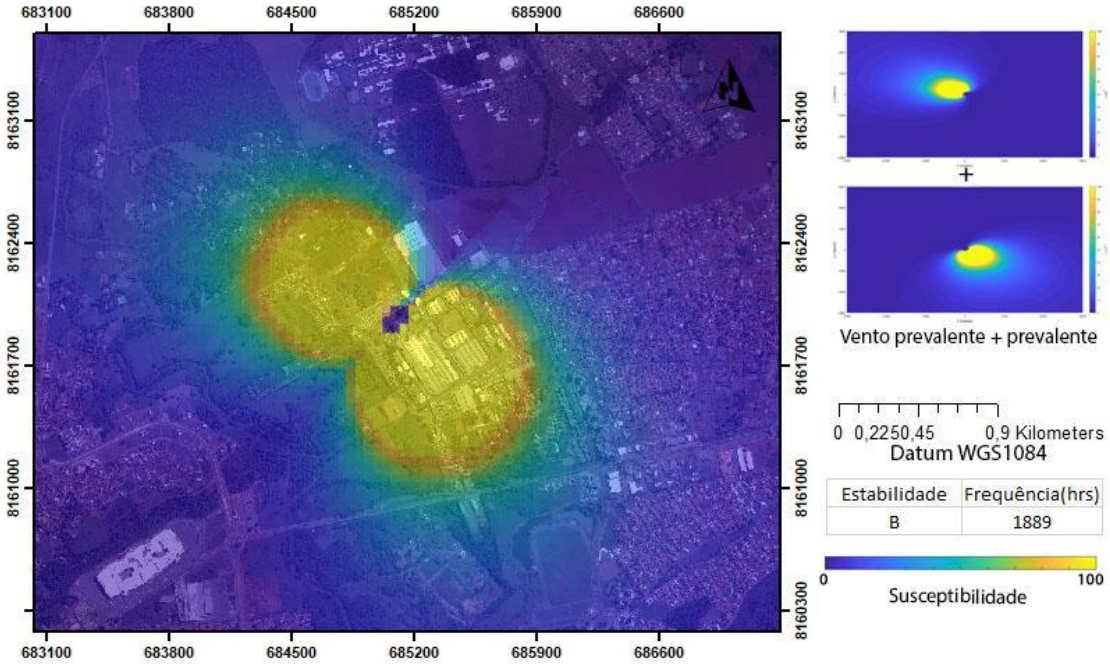
Analisando os resultados para o período de chuvas, há um alcance das emissões para a direção sudeste que poderia atingir áreas residenciais próximas. Ao contrário da direção noroeste, no sudeste da fonte de emissão não há obstruções que possam mitigar o alcance das emissões nessa direção, pelo que o alcance seria mais direto.

Figura 24 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação das chuvas 2012, atmosfera muito instável.



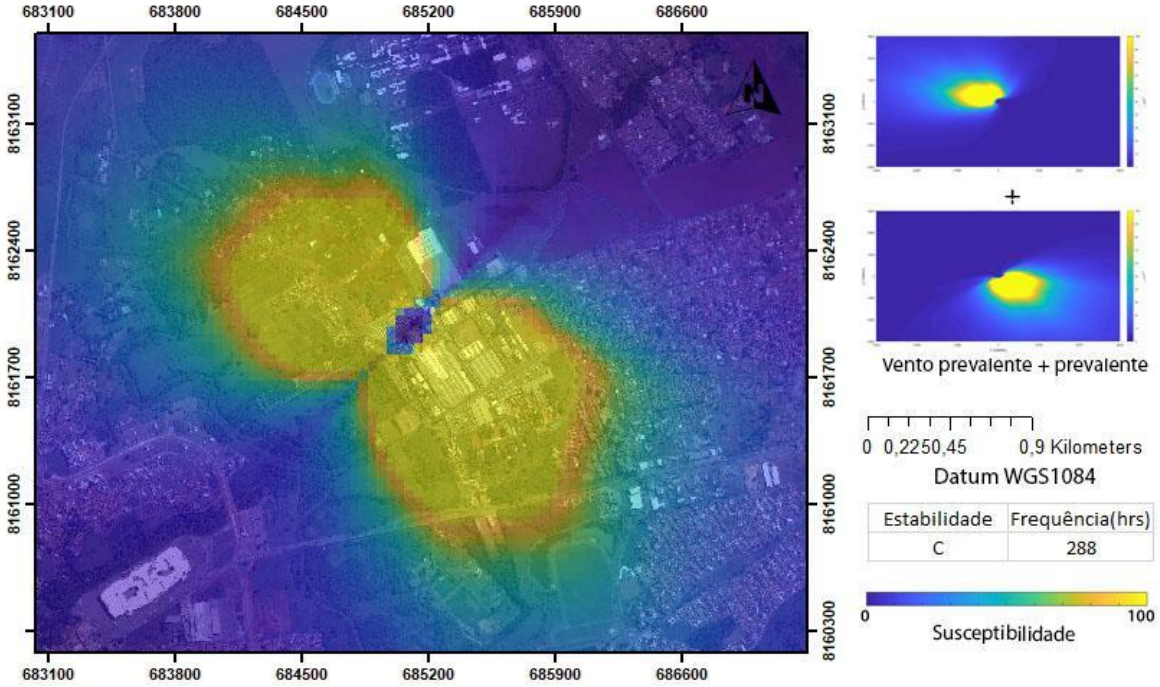
Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação das chuvas 2012, atmosfera moderadamente instável.



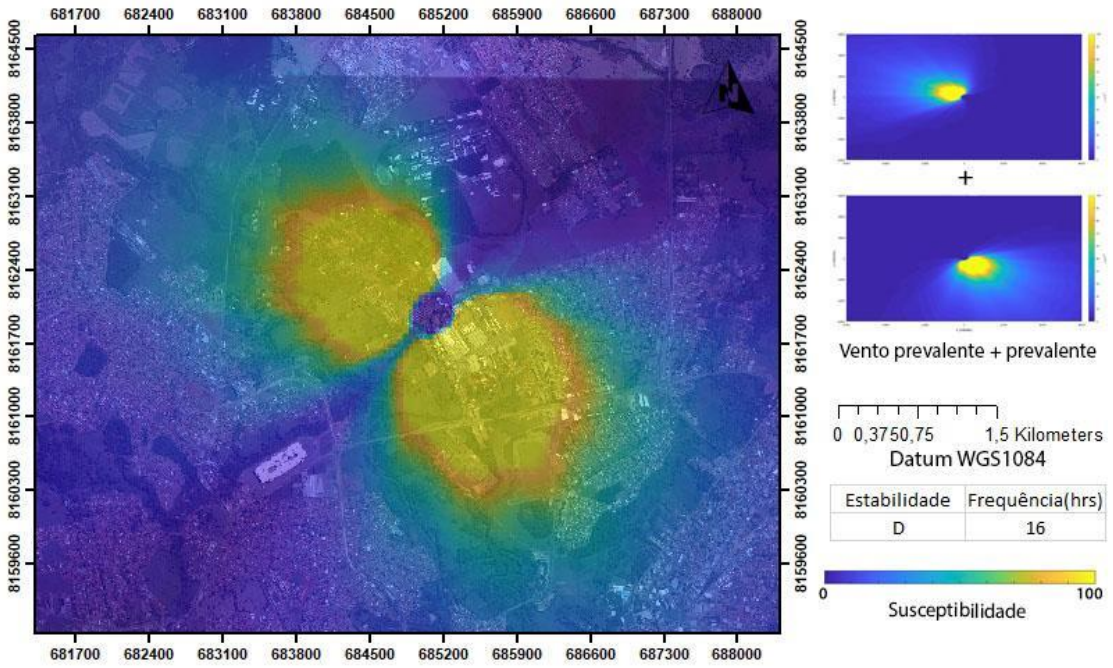
Elaborado pelo autor.

Figura 26 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação das chuvas 2012, atmosfera pouco instável.



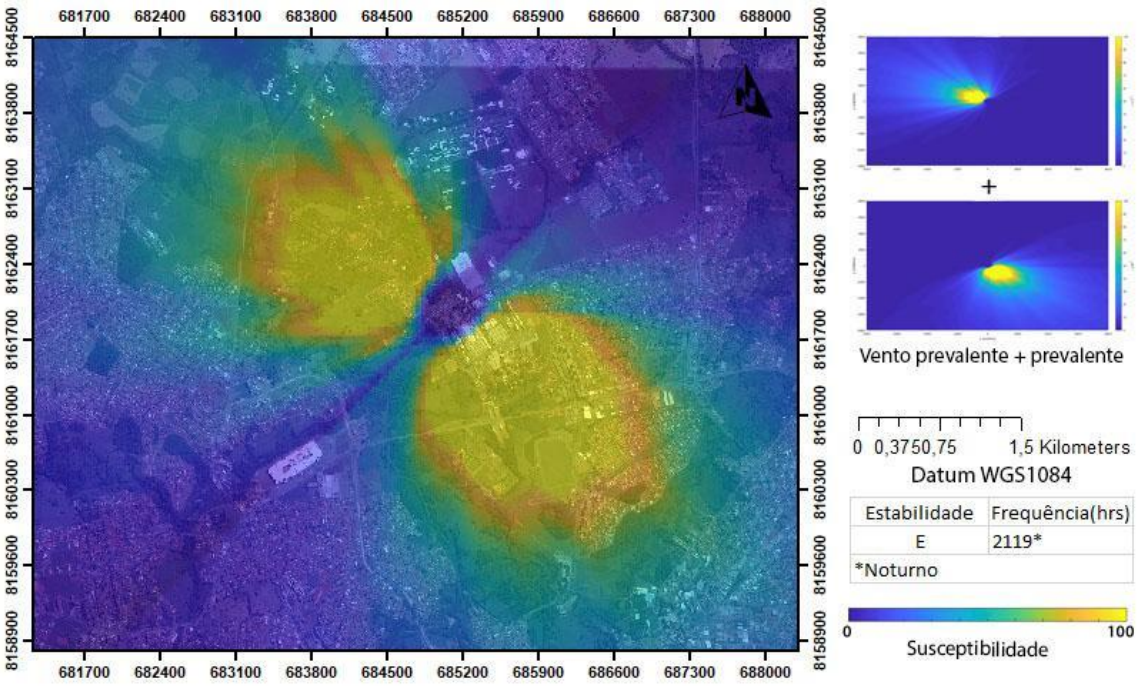
Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação das chuvas 2012, atmosfera neutral.



Elaborado pelo autor.

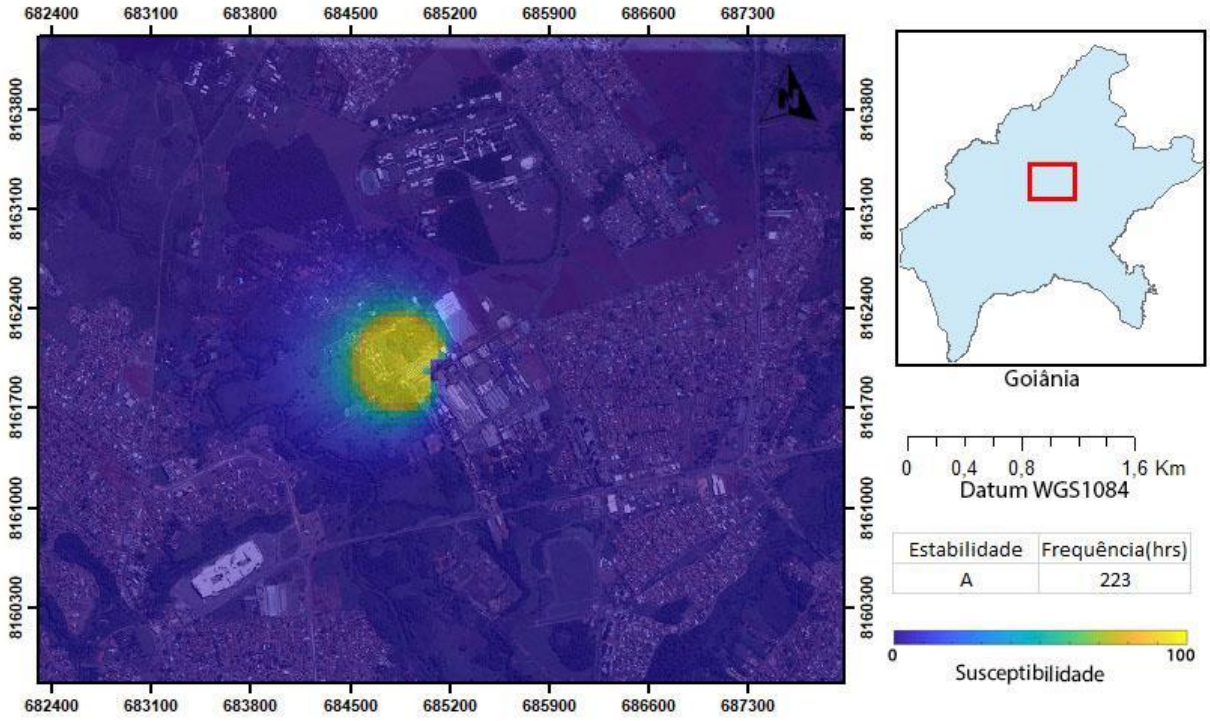
Figura 28 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação das chuvas 2012, atmosfera estável.



Elaborado pelo autor.

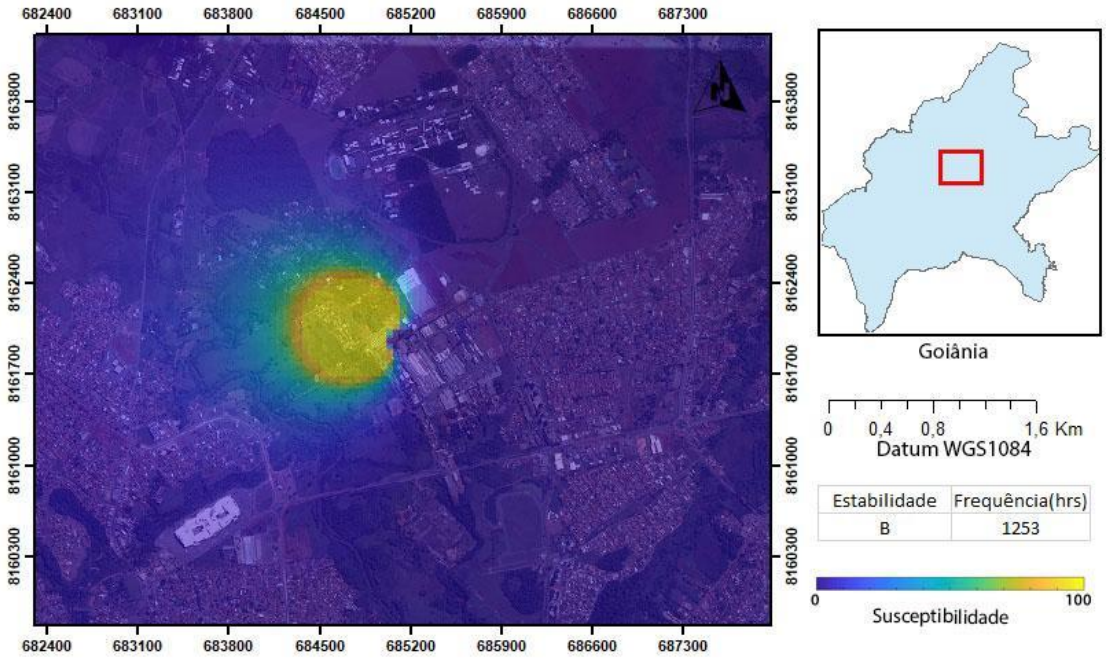
Quanto à estação seca, a distribuição dos ventos indica uma forte predominância na direção nordeste, pelo que se determinou orientar o modelo na direção do vetor resultante com vento prevalente, desconsiderando a dispersão nas outras direções.

Figura 29 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação seca 2012, atmosfera muito instável.



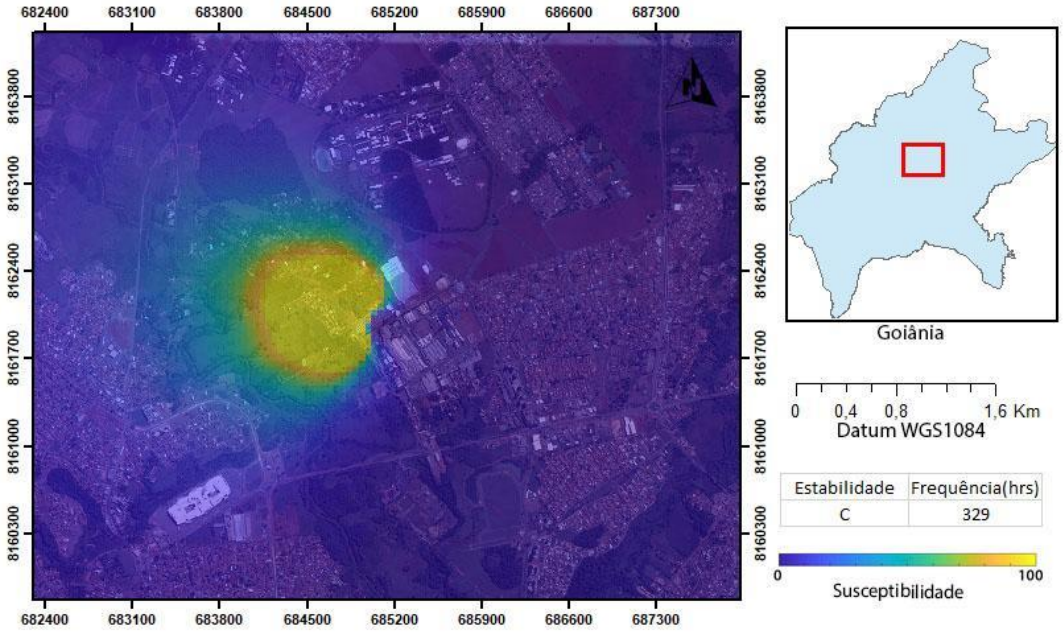
Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação seca 2012, atmosfera moderadamente instável.



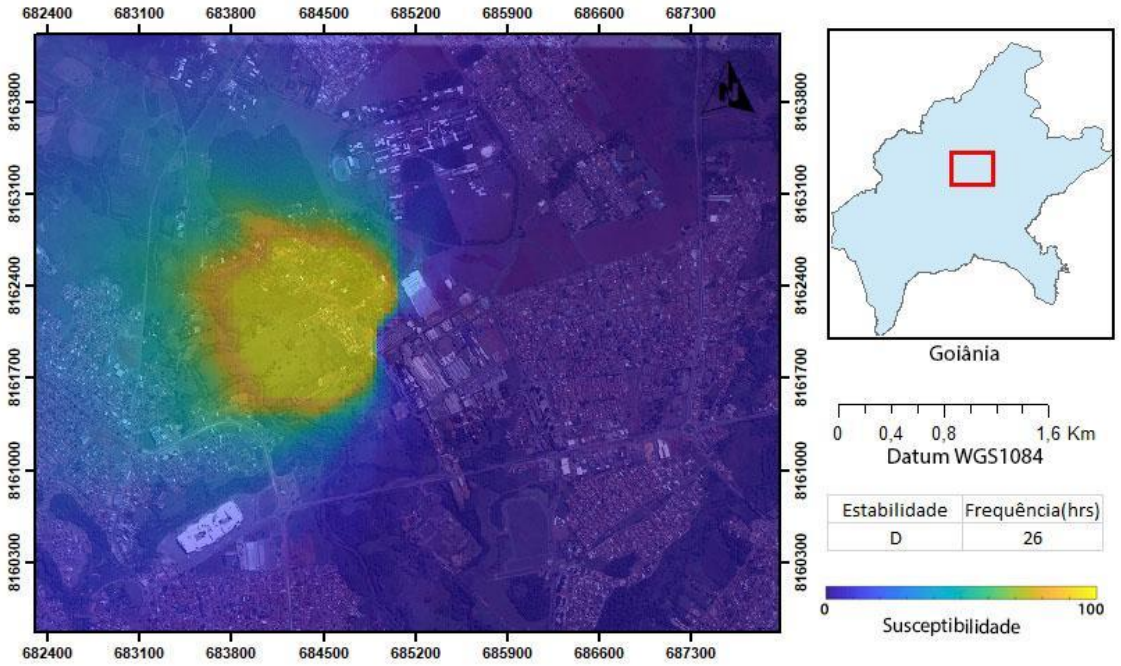
Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação seca 2012, atmosfera pouco instável.



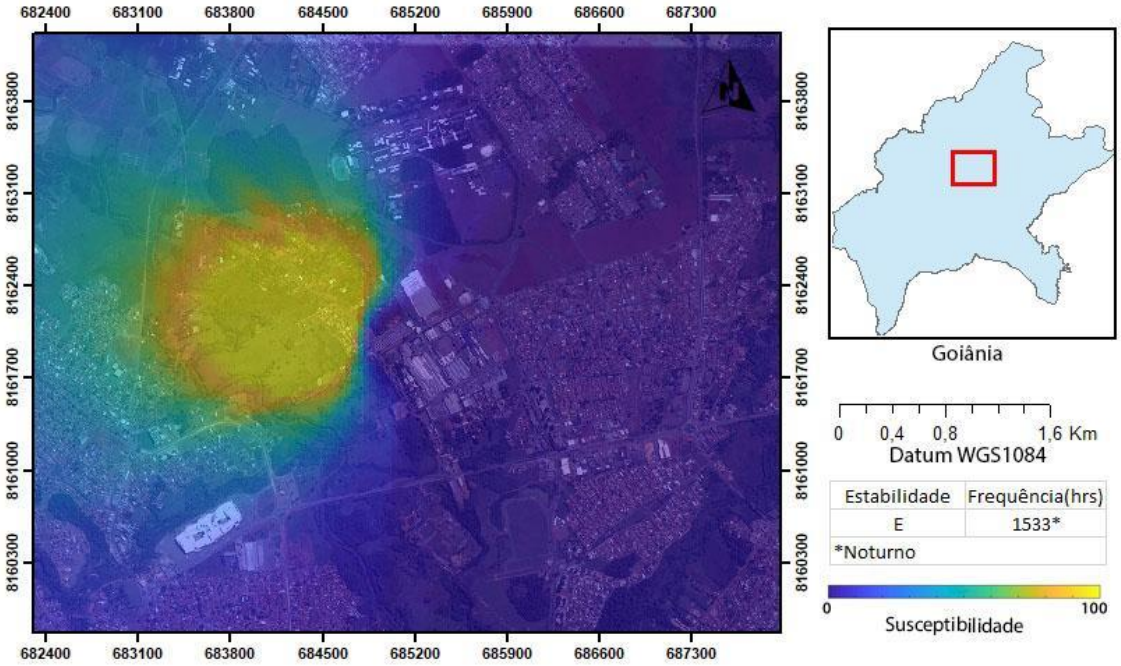
Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação seca 2012, atmosfera neutral.



Elaborado pelo autor.

Figura 33 - Modelagem da dispersão do contaminante proveniente da fonte de emissão fixa na estação seca 2012, atmosfera estável.



Elaborado pelo autor.

2.5. Considerações finais e discussão

O problema da poluição do ar não é algo novo. Há abundantes trabalhos de diferentes áreas e uma diversidade de autores pesquisando em relação a este tema. Precisamente, a problemática necessita de um enfoque interdisciplinar que abranja a complexidade do assunto. Assim, para entender esta problemática, é preciso revisar estudos químicos, físicos, meteorológicos, climáticos, ambientais, toxicológicos, sociológicos e econômicos.

Intrinsecamente, as atividades humanas produzem subprodutos. Exemplo disso são as atividades metabólicas, os deslocamentos ou os processos industriais. A filosofia geral no gerenciamento da poluição é evitar produzir lixo, logo, reduzir a quantidade subproduzida, reutilizar quando é viável, realizar tratamento para diminuir os efeitos nocivos, e apenas após “eliminar” ou dar disposição final sem comprometer ao ambiente. Considerando que os processos humanos são suscetíveis a gerar subprodutos, senão se coloca a correspondente atenção, as consequências podem ser nocivas para a saúde.

A qualidade do ar deveria ser considerada condição atmosférica nas cidades e um parâmetro meteorológico, os habitantes das cidades do mundo precisam ter acesso transparente à informação da qualidade do ar. Tendo em vista os padrões de consumo e a interdependência dos mercados mundiais, os efeitos da poluição atmosférica apresentam-se local e globalmente, assim como suas causas, isto é, a responsabilização conjunta dos efeitos da poluição. Os produtos ou serviços podem ser elaborados muito longe do consumidor, e é no local de produção onde possivelmente há emissões atmosféricas mais intensas.

Cabe mencionar que não é ético nem progressista atribuir problemas de poluição atmosférica às características geográficas, como o relevo ou o clima. Essas condições são objetos e não sujeitos. De fato, o tráfego veicular pode ser a principal fonte de emissão de poluentes em algumas cidades. A problemática da qualidade do ar urbana é de origem antropogênica e os efeitos adversos atuam sobre os habitantes das cidades. De tal forma, a qualidade do ar é responsabilidade da sociedade: Governo, setor privado e sociedade civil (IISUKA apud NAÇOES UNIDAS, 2003).

Em síntese, são variados fatores atmosféricos, mas, mesmo assim, fatores antropogênicos que vão determinar a ocorrência de episódios de poluição críticos. As

diferentes escalas climáticas, desde o clima regional até o microclima, são objeto de estudo para avaliar a susceptibilidade a uma qualidade de ar prejudicial para uma cidade ou um determinado lugar dentro da cidade.

A identificação prematura das tendências atmosféricas suscetíveis a provocar qualidades de ar prejudiciais é necessária para resguardar a saúde dos habitantes urbanos, mas também para a saúde dos ecossistemas próximos. Por outro lado, é preciso identificar e projetar o crescimento urbano para tomar as decisões antecipadamente na manutenção da qualidade do ar.

O papel do fluxo da informação em matéria de poluição e qualidade do ar é relevante. A exigência do acesso à informação de qualidade e à tomada de consciência dos cidadãos pelo meio da informação dos níveis de poluição das cidades, submete opinião e pressão pública para melhorar o gerenciamento coletivo da poluição. Deste modo, assegurar a resiliência do sistema de clima urbano.

A maneira como são produzidas as emissões também é determinante na manutenção da qualidade do ar. O uso de tecnologias de produção limpas, controle de emissões industriais e veiculares vão contribuir no desenvolvimento sustentável. A inovação e os avanços nesta matéria deverão somar, mas, se não são aplicados mecanismos para assegurar o uso da tecnologia, dificilmente vão ser adotadas novas tecnologias.

Pela grande densidade populacional, a frota veicular, ou a concentração industrial, as metrópoles são um objeto de estudo da qualidade do ar. Eis a importância do monitoramento e do planejamento e licenciamento da colocação de fontes de emissão industriais dentro das grandes cidades.

Os mapas resultados desta pesquisa mostram as áreas susceptíveis de serem atingidas por emissões da fonte fixa no ano 2012. Saber interpretar os resultados é essencial para não confundir os cenários, seu alcance, a incidência e a ocorrência.

Dentro da área de estudo, encontra-se uma mistura de zonas residencial, industrial, formações vegetais, e córregos. Considerando essa composição, a área de estudo parece ser uma zona em processo de urbanização prematuro em algumas zonas.

Quando qualquer tipo de indústria, seja por motivos operacionais ou por percepção pública, decide operar fontes de emissão fixas no período noturno, pode ser um horário suscetível a um alcance da emissão muito maior de que no horário diurno.

É importante lembrar que a influência do terreno não fica considerada no modelo usado e os ventos, juntamente com os poluentes, poderiam exibir uma influência pelos efeitos do relevo e ser arrastados. Para o ano de 2012, as emissões declaradas foram de 619 toneladas de CO_2e, valor que diminuiu consideravelmente, uma vez que em 2013 foram declaradas 204 toneladas. Este contaminante é utilizado para representar a pegada de carbono e a emissão de gases de efeito estufa, o que não representa a poluição troposférica, aliás, é proporcional à emissão conjunta de outros contaminantes. A modelagem feita não representa a dispersão de emissões da indústria na atualidade.

Dentro do PRONAR (Resolução N°005/1989), estabelecem-se as classes para a prevenção da deterioração significativa da qualidade do ar, o que ajudaria a ser mais pontual na hora de especificar espaços de desenvolvimento urbano que possam ser susceptíveis à acumulação de poluentes e, consequentemente, a má qualidade de ar. O decreto estadual que regulamenta a poluição do ar é 10 anos mais antigo que o PRONAR, tornando a atualização necessária.

Dentro da legislação é importante considerar que o decreto estadual considera poluentes aqueles que sejam prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como as atividades normais da comunidade. Nesse sentido, deve-se considerar as atividades físicas ao ar livre e odores incômodos fora dos estabelecimentos onde são emitidos.

Na definição da declaração dos níveis de emergência há incongruências entre a definição do valor dos parâmetros. Em SO_2 a alerta e menor que a atenção e em SO_2 x MP a emergência tem o mesmo valor do nível de atenção (Tabela, 8 em destaque).

Dentro das dificuldades da pesquisa, estão a falta de dados transparentes como um inventário de emissões, que seria de muita utilidade para conhecer a distribuição das emissões em períodos mais curtos de tempo e conseguir aumentar a precisão do modelo. É muito importante a exigência de inventários de emissão para o controle da qualidade do ar, e para a disponibilidade dessa informação ao público considerando o recurso atmosférico como um bem comum.

3. Referências bibliográficas

BRAGA, Benedito (Coautor) **Introdução à engenharia ambiental** 2. ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 305 p., il. Inclui bibliografia e índice. ISBN 858776050412 (broch.)

BRASIL. Resolução do CONAMA n° 05 de 15 de junho de 1989. **Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR**. 1989.

BRASIL. Resolução do Conama n° 03, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**. 1990a

BRASIL. Resolução do Conama n° 08, de 6 de dezembro de 1990. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**. 1990b.

GOIÁS. Decreto N° 1.745 de 06 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.** 1979.

CONNOLLY, Paul. **Gaussian Plume Model in MATLAB. 2014**. Disponível em: <http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/paul.connolly/teaching/practicals/gaussian_plume_modelling.html>. Acesso em 19.ago.2016.

DAVIS, Mackenzie Leo. CORNWELL, David A. **Introduction to environmental engineering** 4th ed Dubuque, IA: McGraw-Hill Companies, c2008. xvi, 1008 p., ill., 24 cm. Includes bibliographical references and index ISBN 0072424117

Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros. IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/default.shtm>. Acesso em 13.Mar.2017.

Frota de veículos. DENATRAN. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos>. Acesso em 13.Mar.2017.

FURLAN, Sueli Angelo; SCARLATO, Francisco ((coord.)) **Clima e meio ambiente** 6. ed. -- São Paulo: Atual, 2007. 88 p., il. +. (Meioambiente) Incluibibliografia ISBN 9788570568953 (broch.)

GARREAUD, D. Rene. RUTLLANT, Jose. **Factores meteorologicos de la contaminación atmosferica en Santiago**. capitulo 2 en episodios criticos de contaminación atmosferica en santiago. R. Morales Ed. Coleccion de quimica ambiental, editorial universitaria pp 33-53. ano 2006

HARDIN, Garret (1968), “**The tragedy of the commons**”, Science, N° 162.

HARRISON, R. M. (Roy M.) (Coautor) **Pollution causes, effects and control** 3rd ed. - Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1996. xxi, 480, il. Inclui indice. ISBN 0854045341 (Broch.)

HARVEY, David**. A produção capitalista do espaço**. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2006. 251 p.

Health Effects Institute (vários autores), **Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study)**. 2017. Research Report 171

IEMA. Instituto de energia e meio ambiente. **1° diagnostico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. 2014

Instituto de saúde e sustentabilidade. **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. 2014

IBGE. Principais Resultados - Áreas dos Municípios. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=destaques&c=5208707>. Acesso em 25 jun. 2017

INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL. **Mapa de Empresa - Unilever América Latina**. Disponível em: <http://www.observatoriosocial.org.br/var/www/html/observatoriosocial.org.br/web/?q=biblioteca/mapa-de-empresa-unilever-america-latina> Acesso em: 23 de junho de 2017

LEFEBVRE, Henri. O direito a cidade. 2.ed. São Paulo: Centauro, 2001. 145 p.

MINISTERIO DE MEIO AMBIENTE. **Programa nacional de controle da qualidade do ar - PRONAR**. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/pronar_163.pdf> Acesso em: 23 de junho de 2017

MILLER, G. Tyler. **Ciência ambiental.** São Paulo: Thomson Learning, c2007. 123p., il. ISBN 9788522105496 (broch.)

MORGAN, Susan M. (Coautor) **Introdução à engenharia ambiental** São Paulo: Cengage Learning, 2011. xviii, 438 p., il. Inclui bibliografia e índice ISBN 9788522107186 (broch.)

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo **Teoria e clima urbano** São Paulo: [s. n.], 1976. 181 f., il. Bibliografia: f. 151-181.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. **Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica**. 2016. 200 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

NIMER E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

NAÇÕES UNIDAS (Coautor) SIMIONI, Daniela (compiladora**) Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana**. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL, 2003. 279 p.

National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide.** NOAA. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Acesso em 15.ago.2017.

REGO, T. L. **Chuvas e inundações em Goiânia: dinâmica atmosférica e áreas de risco**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SEINDFELD, J.; PANDIS, S**. Atmospheric Chemistry and Physics**. 2nd ed. 2006

TURNER, D.B. **Workbook of Atmospheric Diffusion Estimates**, USEPA 999-AP-26. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 1969.

UNILEVER BRASIL. **Operações.** Disponível em: <https://www.unilever.com.br/about/operacoes/>. Acesso em 14 jun. 2017a

UNILEVER BRASIL. **Downloads - Outras publicações**. Disponível em: <https://www.unilever.com.br/sustainable-living/estrategia-de-sustentabilidade/downloads/>. Acesso em: 14 jun. 2017b

VESILIND, P. Aarne. MORGAN, Susan M. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. xviii, 438 p., il. Inclui bibliografia e índice. ISBN 9788522107186 (broch.).

WALTER, Bruno Machado **Teles. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 389 f., il. Tese (Doutorado em Ecologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WORLD HEALTH ORANIZATION (WHO). **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Global update 2005. Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/>. Acesso em: 19.ago.2016.

WORLD HELTH ORGANIZATION (WHO). **Global Urban Ambient Air Pollution Database** (update 2016). Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/>. Acesso em 19.ago.2016.