

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE - GO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS  
CHUVAS EM RIO VERDE – GOIÁS

Mestrando: Eduardo Matheus Guimarães Teles

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

RIO VERDE – GO

Abril – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE - GO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS  
CHUVAS EM RIO VERDE – GOIÁS

Autor: Eduardo Matheus Guimarães Teles

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, do Programa de Pós-Graduação - *Stricto Sensu* em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde - Área de concentração (Engenharia Aplicada e Sustentabilidade).

RIO VERDE - GO

Abril – 2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

TT269a Teles, Eduardo Matheus Guimarães  
ANÁLISE TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS CHUVAS  
EM RIO VERDE - GOIÁS / Eduardo Matheus Guimarães  
Teles; orientador Lucas Peres Angelini; co-  
orientador Arthur Almeida Rodrigues. -- Rio Verde,  
2021.  
41 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e  
Sustentabilidade) -- Instituto Federal Goiano,  
Campus Rio Verde, 2021.

1. Química de precipitação. 2. Deposição úmida. 3.  
Composição iônica. I. Angelini, Lucas Peres, orient.  
II. Rodrigues, Arthur Almeida, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Eduardo Matheus Guimarães Teles

Matrícula: 2019102331440034

Título do Trabalho: Análise temporal da composição química das chuvas em Rio Verde - GO

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: O trabalho ainda está aguardando submissão para publicação.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/12/2021

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 08/06/2021.

*Eduardo Matheus G. Teles*

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

*Suzo Peres Angellini*

Ciente e de acordo:



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 32/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**ATA Nº/39**

**BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos vinte e nove dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e um, às 14h30min (quatorze horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **Eduardo Matheus Guimarães Teles**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Lucas Peres Angelini, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade**, na área de concentração em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A banca examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da banca examinadora:

<b>Nome</b>	<b>Instituição</b>	<b>Situação no programa</b>
Prof. Dr. Lucas Peres Angelini	IF Goiano - Campus Rio Verde	Presidente
Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos	UniRV - Campus Rio verde	Membro externo

Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior	IF Goiano - Campus Rio Verde	Membro interno
--	------------------------------	----------------

Documento assinado eletronicamente por:

- Edio Damasio da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/05/2021 10:04:37.
- Gilmar Oliveira Santos, Gilmar Oliveira Santos - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 02/05/2021 09:06:26.
- Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/05/2021 16:13:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/04/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 260716  
Código de Autenticação: 698a144c86



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600

## DEDICATÓRIA

*Aos meus amados pais, Lourival e Ana Cláudia,*

*A minha irmã, Letícia,*

*Aos meus pequenos, Nathan e Giovana,*

*DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade neste plano, e por sempre estar ao meu lado nessa caminhada me guiando pelos caminhos corretos.

Aos meus pais Lourival Teles Guimarães e Ana Cláudia Ferreira Guimarães Teles, minha irmã Letícia Teles, e meus sobrinhos e afilhados Nathan Teles e Giovana Teles por sempre me apoiarem e estarem presentes na minha vida. Obrigado por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos. Amo muito vocês, além da vida!

A Beatriz Senra, por estar ao meu lado e pelo carinho, paciência, amor, companheirismo, e todo apoio durante essa etapa.

Ao meu professor orientador, Lucas Peres Angelini, que sempre esteve disposto a ajudar em todos os momentos, sempre com bons conselhos e muita paciência. Obrigado por contribuir para me tornar um pesquisador e uma pessoa melhor.

Ao Arthur Almeida Rodrigues, que me acompanha desde a graduação e esteve comigo também durante esse período de mestrado, ensinando e orientando sobre a área científica. Obrigado por suas contribuições durante a pesquisa do mestrado.

A professora Suzana, que muito contribuiu para a parte química do trabalho, sempre com muita paciência e disposição para ajudar.

Aos meus amigos de vida, José Wilson, Larissa Saeki, Wenniker e Hyuri pela companhia diária e ensinamentos, aprendi muito com vocês.

Ao Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMAM), que através da Prefeitura de Rio Verde financiou todas as análises químicas em laboratório.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, do Instituto Federal Goiano, por todo conhecimento compartilhado.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Eduardo Matheus Guimarães Teles, filho de Lourival Teles Guimarães e Ana Cláudia Ferreira Guimarães Teles, nascido em 23 de novembro de 1996 na cidade de Rio Verde, Goiás. Concluiu o ensino médio no Colégio da Polícia Militar Carlos Cunha Filho, localizado em Rio Verde – GO, no ano de 2013. Concluiu a graduação em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, em 2019. No mesmo ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em engenharia aplicada em sustentabilidade, na linha de pesquisa em “Eficiência Energética e Sustentabilidade”.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTOS .....	i
BIOGRAFIA DO AUTOR.....	i
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE TABELAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMO.....	3
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1 Referências.....	7
2. OBJETIVOS .....	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivos Específicos.....	10
3. CAPÍTULO I .....	11
Resumo.....	11
Abstract .....	12
3.1 Introdução .....	13
3.2 Material e Métodos .....	15
3.2.1 Caracterização da área de estudo .....	15
3.2.2 Coleta e armazenamento das amostras.....	16
3.2.3 Análises físico-químicas .....	18
3.2.4 Dados meteorológicos.....	19
3.2.5 Análises dos dados .....	19
3.3 Resultados e discussão .....	20
3.3.1 Caracterização micrometeorológica de Rio Verde – GO.....	20
3.3.2 Avaliação espacial da composição química das chuvas em Rio Verde - GO.....	22
3.3.3 Avaliação temporal da composição química das chuvas em Rio Verde - GO.....	25

3.3.3.1 Íons.....	25
3.3.3.2 pH e Condutividade Elétrica .....	27
3.3.3.3 Turbidez (Tbdz) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	28
3.3.4 Avaliação sazonal da composição química das chuvas em Rio Verde – GO .....	30
3.3.5 Comparação entre estudos.....	31
3.4 Conclusões .....	33
3.5 Referências.....	34

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Quantidade de amostras mensais coletadas durante o período de estudo.....	18
<b>Tabela 2.</b> Média Ponderada pelo Volume (MPV) e intervalo de confiança de pH, condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), e concentração ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos íons quantificados nas chuvas de Rio Verde .....	22
<b>Tabela 3.</b> Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos ânions quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.....	25
<b>Tabela 4.</b> Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos cátions quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.....	26
<b>Tabela 5.</b> Média Ponderada pelo Volume (MPV) de pH, condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), e concentração ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos íons quantificados nas chuvas de Rio Verde, divididos entre período seco e chuvoso.....	30
<b>Tabela 6.</b> Concentrações de cátions ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nas águas pluviais em Rio Verde (este estudo) e em outras cidades do Brasil.....	31
<b>Tabela 7.</b> Concentrações de ânions ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ), pH e condutividade elétrica (CE) ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nas águas pluviais em Rio Verde (este estudo) e em outras cidades do Brasil.....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Mapa da área de estudo, Município de Rio Verde, Estado de Goiás e Brasil	16
<b>Figura 2.</b> Ilustração do sistema de coleta da água da chuva.....	17
<b>Figura 3.</b> Normal climatológica (1980-2010) e médias mensais de Umidade Relativa do Ar (UR), Temperatura Média (Temp) e Precipitação (Ppt) entre 2019 e 2020 para Rio Verde – GO.....	20
<b>Figura 4.</b> Distribuição percentual baseada na concentração dos principais íons na água da chuva do Ponto 1.....	24
<b>Figura 5.</b> Distribuição percentual baseada na concentração dos principais íons na água da chuva do Ponto 2.....	24
<b>Figura 6.</b> Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações de pH e Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.....	27
<b>Figura 7.</b> Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações de Turbidez (NTU) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD – $\text{mg L}^{-1}$ ) quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.....	29

## RESUMO

TELES, EDUARDO MATHEUS GUIMARÃES. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, abril de 2021. **Análise temporal da composição química das chuvas em Rio Verde – Goiás.** Orientador: Lucas Peres Angelini. Coorientadores: Bruno Botelho Saleh; Arthur Almeida Rodrigues.

Estudar a composição química da atmosfera é importante para o entendimento e controle da poluição atmosférica. A deposição úmida pode ser usada como instrumento para identificação e quantificação de elementos presentes no ar. Este estudo teve como objetivo a análise da composição química das chuvas em Rio Verde, estado de Goiás. As análises foram realizadas entre o período de setembro de 2019 a dezembro de 2020. Dois pontos amostrais foram instalados na cidade, com distância de 5,32 km entre eles, um em área mais afastada do movimento urbano (Ponto 1), e outro ponto em área residencial (Ponto 2). Foram realizadas as análises de pH, condutividade (CE), turbidez (Tb), sólidos totais dissolvidos (STD) e mais 13 íons ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ). No Ponto 1 as concentrações de cátions diminuíram na ordem  $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Fe^{2+} > Cu^{2+} > Al^{3+} > Pb^{2+}$  enquanto no Ponto 2 a ordem foi  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+ > Fe^{2+} > Cu^{2+} > Al^{3+} > Pb^{2+}$ . Em relação aos ânions, no Ponto 1 e 2 apresentaram mesma ordem  $F^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > PO_4^{3-}$ . Os valores de pH se apresentaram predominantemente básicos e houve pouca variação neste estudo, apresentando média ponderada pelo volume (MPV) de 10,4 para o Ponto 1, e 10 para o Ponto 2. Na análise de CE, os valores de MPV para os dois pontos foram de 36,27 e 29,5 ( $\mu S\ cm^{-1}$ ) respectivamente. Dentre os resultados de STD e Tb, todos ficaram abaixo do limite máximo estipulado pela legislação brasileira para águas doces de Classe 1 (CONAMA 357/2005). Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e comparados com a normal climatológica do mesmo período estudo. Foi realizada análise estatística pelo método de correlação de Pearson, e no Ponto 1 houve relação significativa ( $p < 0,01$ ) entre  $Tb \times Ca^+$ ,  $Tb \times CE$ ,  $Tb \times STD$ ,  $SO_4^{2-} \times NO_3^-$ ,  $Al^{3+} \times NO_3^-$  e  $Fe^{2+} \times Cu^{2+}$ . No Ponto 2 a relação significativa foi entre:  $SO_4^{2-} \times Cu^{2+}$ ,  $Cl^- \times Al^{3+}$ ,  $Cl^- \times NO_3^-$ ,  $F^- \times Pb^{2+}$ ,  $Al^{3+} \times NO_3^-$ ,  $Fe^{2+} \times Pb^{2+}$ ,  $Al^{3+} \times Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+} \times Na^+$ ,  $Pb^{2+} \times Mg^{2+}$ ,  $Ca^+ \times Tb$ ,  $pH \times CE$ ,  $pH \times STD$  e  $CE \times STD$ . Pode-se concluir com este trabalho, que os anos de 2019 e 2020 foram anos mais secos e de maior

temperatura que o normal para a região. Além disso, foi constatado que os íons mais presentes na água da chuva de Rio Verde – GO são  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são de origem da intensa atividade agrícola da região e desempenham papel importante para elevar os valores de pH das chuvas da região, evitando eventos como a chuva ácida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Química de precipitação; Deposição úmida; Composição iônica.

## ABSTRACT

TELES, EDUARDO MATHEUS GUIMARÃES. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, March, 2021. **Temporal analysis of rains chemical composition in Rio Verde – Goiás.** Advisor: Lucas Peres Angelini. Co-advisors: Bruno Botelho Saleh; Arthur Almeida Rodrigues.

To study the atmosphere's chemical composition is important to comprehend and control atmospheric pollution. Wet deposition can be used as an instrument for identification and quantification of elements present in the air. This study aimed to analyze rain's chemical composition in Rio Verde, state of Goiás. The analyzes were carried out between September 2019 and December 2020. Two sample points were installed in the city, with a distance of 5.32 km between them, one in a furthest area from the urban movement (Point 1), and another point in a residential area (Point 2). Analyzes of pH, conductivity (CE), turbidity (Tb), total dissolved solids (STD) and 13 more ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) were performed. At Point 1 the cation concentrations decreased in the order  $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+}$  while at Point 2 the order was  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+}$ . In relation to anions, in Point 1 and 2 they presented the same order  $\text{F}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ . The pH values were predominantly basic and there was little variation in this study, presenting a volume-weighted average (MPV) of 10.4 for Point 1, and 10 for Point 2. In the EC analysis, the MPV values for the two points were 36.27 and 29.5 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), respectively. Among the results of STD and Tbdz, all data were below the maximum limit stipulated by the Brazilian legislation for Class 1 freshwater (CONAMA 357/2005). Temperature and precipitation data were obtained through the National Institute of Meteorology (INMET) and compared with the normal climatological data from the same study period. Statistical analysis was performed using the Pearson correlation method, where at Point 1 there was a significant relationship ( $p < 0.01$ ) between  $\text{Tbdz} \times \text{Ca}^+$ ,  $\text{Tbdz}$

$\times$  CE, Tbdz  $\times$  STD,  $\text{SO}_4^{2-} \times \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Al}^{3+} \times \text{NO}_3^-$  and  $\text{Fe}^{2+} \times \text{Cu}^{2+}$ . In Point 2 the significant relationship was between:  $\text{SO}_4^{2-} \times \text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^- \times \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^- \times \text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^- \times \text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+} \times \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+} \times \text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+} \times \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+} \times \text{Na}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+} \times \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^+ \times \text{Tbdz}$ ,  $\text{pH} \times \text{CE}$ ,  $\text{pH} \times \text{STD}$  and  $\text{CE} \times \text{STD}$ . With this work it can be concluded that the years 2019 and 2020 were drier years and had a higher temperature than usual for the region. In addition, it was found that the ions most present in the rainwater of Rio Verde - GO are  $\text{Ca}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , which are the source of intense agricultural activity in the region and play an important role in raising the pH values of the region's rains.

**KEY WORDS:** Precipitation chemistry; Wet deposition; Ionic composition.

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar vem sendo uma das principais preocupações sobre mudanças climáticas em todo o mundo. Devido aos altos volumes de tráfego e industrialização, as áreas urbanas são responsáveis pela emissão de vários tipos de partículas poluentes do ar em grau maior do que as áreas rurais (Kotowski et al., 2020). São notáveis os impactos negativos causados em diferentes comunidades em decorrência do elevado nível de poluição. Temperatura do ar e precipitação são exemplos de fatores que sofrem visível influência de acordo com a quantidade de poluição de cada localidade (Lins et al., 2020; Santos e Gastmans, 2016).

Estudar a composição química da atmosfera é importante para o entendimento e controle das inferências antrópicas desenvolvidas em determinada localidade. Atividades como exploração mineral, processos industriais, atividades agrícolas e queimadas são exemplos de potenciais poluentes da atmosfera (Lins et al., 2020). A água da chuva tem papel importante no ciclo biogeoquímico e é responsável por interagir com diversos processos físicos e químicos. Por meio de sua análise é possível determinar quais os compostos químicos presentes na atmosfera, bem como sua quantidade, a fim de traçar melhor estratégia no controle da poluição local, podendo afetar inclusive a saúde da população (Martins et al., 2019; Vlastos et al., 2019).

A água pluvial promove a remoção de aerossóis e gases presentes na atmosfera por meio do mecanismo de lavagem. As primeiras frações da chuva são responsáveis pelo processo conhecido como *washout*, que realiza a remoção dos poluentes emitidos na região. As frações seguintes da chuva realizam o processo de *rainout*, que remove os poluentes oriundos e transportados de outras regiões. Deste modo, a composição atmosférica sofre influências locais e até mesmo de outras regiões do globo, por meio da poluição transfronteiriça (Báez et al., 2006; Oduber et al., 2020)

A acidez ou alcalinidade da água da chuva varia de acordo com os elementos e compostos presentes na atmosfera. Comumente chuvas que apresentam maior acidez, possuem como principais responsáveis os compostos  $\text{SO}_2$  (dióxido de enxofre) e  $\text{NO}_x$  (óxidos de nitrogênio), que na maioria dos casos são emitidos de forma antrópica. Por outro lado, os compostos básicos derivados do solo podem ser responsáveis pela neutralização dos constituintes ácidos na atmosfera, influenciando também na acidez final da água da chuva (Keresztesi et al., 2020).

A poluição atmosférica afeta negativamente os ecossistemas aquáticos e terrestres, mas para a saúde humana os efeitos são devastadores (Keresztesi et al., 2020). Atualmente a poluição do ar ocupa a quinta colocação dentre os principais responsáveis por mortes em todo o mundo, superando até mesmo a desnutrição e acidentes de trânsito (Health Effects Institute, 2019). Segundo o Ministério da Saúde (2021), no Brasil as mortes em decorrência da poluição atmosférica aumentaram 14% em dez anos (2006-2016). Em relação a agricultura, o rendimento na produtividade de plantações pode ser reduzido em até 60%, dependendo da cultura e dos tipos de poluentes (Vlachokostas et al., 2010).

Diversos estudos de composição química da água da chuva foram realizados em diferentes países do mundo. Na China, por exemplo, Zeng et al. (2020) relataram que  $\text{SO}_4^{2-}$  é o ânion dominante na água pluvial, enquanto  $\text{NH}_4^+$  é o cátion dominante. Na Romênia, entretanto, o cátion dominante foi  $\text{Ca}^{2+}$  (cálcio) e o ânion foi também o  $\text{SO}_4^{2-}$  (Arsene et al., 2007). O estudo realizado na Tailândia apresentou resultado semelhante ao da China, tendo  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato) e  $\text{NH}_4^+$  (amônio) como principais íons (Chantara e Chunsuk, 2008).

No Brasil, também existem estudos de análise da composição química da água da chuva realizados em diferentes cidades do país. Os estudos existentes, localizam-se,

principalmente na região sudeste e sul do país. Em Limeira (SP), Martins et al. (2019) constataram grande influência da atividade agrícola na composição atmosférica, além de forte impacto negativo causado por focos de incêndio. Vieira-Filho et al. (2015) realizam o estudo nas cidades de Cubatão (SP) e em São Paulo (SP), e por mais que as emissões de poluente fossem superiores na cidade de São Paulo, a pior qualidade do ar foi identificada em Cubatão, pelas condições orográficas. Na cidade de Itatiaia (SP), Mello e Almeida (2004) determinaram que dentre os íons inorgânicos, 60% da água pluvial era composta por  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ .

Poucos são os estudos que realizaram a análise da composição química da atmosfera em Goiás. A cidade de Rio Verde está localizada no sudoeste do estado, e foi o objeto de estudo deste trabalho. A cidade possui atualmente 172 anos (fundada em 1848) e aproximadamente 235 mil habitantes. Na década de 1970 atraiu agricultores de diversas regiões do país, resultando hoje no município maior produtor de grãos do estado e um dos destaques do país (Prefeitura de Rio Verde, 2015). Além disso, Rio Verde possui um polo industrial que conta com a presença de grandes empresas brasileiras e até mesmo multinacionais que executam o processamento de produtos agropecuários, como BRF (aves e suínos), Louis Dreyfus (óleo e farelo de soja), Cargill (óleo e farelo de soja) e Mosaic (fertilizantes) (Pizarro, 2017).

## 1.1 Referências

ARSENEA C, OLARIU RI & MIHALOPOULOS N. 2007. Chemical composition of rainwater in the northeastern Romania, Iasi region (2003–2006). *Atmos. Environ.* 41: 9452-9467.

BAEZ AP, BELMONT RD, GARCIA RM, TORRES MC & PADILLA HG. 2006. Rainwater chemical composition at two sites in Central Mexico. *Atmos. Res.* 80: 67-85.

CHANTARA S & CHUNSUK N. 2008. Comparison of wet-only and bulk deposition at Chiang Mai (Thailand) based on rainwater chemical composition. *Atmos. Environ.* 42: 5511-5518.

HEALTH EFFECTS INSTITUTE. 2019. State of Global Air 2019. Boston.

KERESZTESI Á, NITA IA, BIRSAN MV, BODOR Z, PERNYESZI T, MICHEU MM & SZÉP R. 2020. Assessing the variations in the chemical composition of rainwater and air masses using the zonal and meridional index. *Atmos. Res.* 237.

KERESZTESI A, NITA IA, BOGA R, BIRSAN M-V, BODOR Z & SZEP R. 2020. Spatial and long-term analysis of rainwater chemistry over the conterminous United States. *Environ. Res.*188:109872.

KOTOWSKI T, MOTYKA J, KNAP W & BIELEWSKI J. 2020. 17-Year study on the chemical composition of rain, snow and sleet in very dusty air (Krakow, Poland). *J Hydrol.* 582 :124-543.

LINS EAM, PAIVA SC, SILVA LRA, BARBOSA ACA, SANTOS AKC & FERREIRA JS. 2020. Análise da qualidade da água de chuva no bairro da Boa Vista –estudo de caso. *Brazilian Journal of Development Curitiba.* 6: 2257-2264

MARTINS EH, NOGAROTTO DC, MORTATTI J & POZZA SA. 2019. Chemical composition of rainwater in an urban area of the southeast of Brazil. *Atmospheric Pollu. Res.* 10: 520-530.

MELLO WZ & DE ALMEIDA MD. 2004. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. *Environ. Pollu.* 129: 63-68.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/mortes-devido-a-poluicao-aumentam-14-em-dez-anos-no-brasil>.

SANTOS V & GASTAMNS D. 2016. Composição química da água de chuva em Rio Claro (SP). **Revista do Instituto Geológico** 37: 45-60.

ODUBER F, CALVO AI, CASTRO A, BLANCO-ALEGRE C, ALVES C, BARATA J, NUNES T, LUCARELLI F, NAVA S, CALZOLAI G, CERQUEIRA M, MARTÍN-VILLACORTA J, ESTEVES V & FRAILE R. 2020. Chemical composition of rainwater under two events of aerosol transport: A Saharan dust outbreak and wildfires. *Sci Total Environ.* 734: 10.

PIZARRO REC. 2017. O agronegócio e a produção do espaço da região de planejamento sudoeste goiano. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Geografia. Universidade de Brasília pp 329.

RIO VERDE (GO). Prefeitura. 2015. Disponível em:<https://www.rioverde.go.gov.br/historia-cidade/> Acesso em: mar. 2021

VIEIRA-FILHO MS, LEHMANN C & FORNARO A. 2015. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. *Atmos. Environ.*, 101: 200-208.

VLACHOKOSTAS C, NASTIS SA, ACHILLAS C, KALOGEROPOULOS K, KARMIRIS I, MOUSSIOPOULOS N, CHOURDAKIS E, BANIAS G & LIMPERI N. 2010. Economic damages of ozone air pollution to crops using combined air quality and GIS modelling. *Atmos. Environ.* 44: 28.

VLASTOS D, ANTONOPOULOU M, LAVRANOU A, EFTHIMIOU I, DAILIANIS S, HELA D, LAMBROPOULOU D, PASCHALIDOU AK & KASSOMENOS P. 2019. Assessment of the toxic potential of rainwater precipitation: first evidence from a case study in three Greek cities. *Sci. Total Environ.*, 648: 1323-1332.

ZENG J, HAN G, WU Q & TANG Y. 2020. Effects of agricultural alkaline substances on reducing the rainwater acidification: Insight from chemical compositions and calcium isotopes in a karst forests area. *Agric Ecosyst Environ.* 290: 1.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Analisar e quantificar a composição iônica e físico-química dos eventos de chuva em Rio Verde – Goiás.

### 2.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar a variação de chuva, umidade relativa e temperatura do ar em relação a normal climatológica;
- II. Determinar os principais cátions e ânions presentes na água da chuva;
- III. Determinar os valores de pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez e condutividade na água pluvial;
- IV. Identificar as possíveis fontes de emissões atmosféricas nos pontos amostrais;
- V. Comparar a composição iônica da água da chuva entre época seca e chuvosa;

### 3. CAPÍTULO I

## ANÁLISE TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS CHUVAS EM RIO VERDE – GOIÁS

### RESUMO

A poluição atmosférica aumentou exponencialmente nos últimos anos por causa do elevado desenvolvimento econômico em escala global. Conhecer a composição química da atmosfera é importante para o controle e execução de medidas mitigatórias para redução da poluição. Este estudo foi realizado a partir de setembro 2019 até dezembro de 2020, em que foi analisada a composição química da água da chuva em Rio Verde, estado de Goiás. Dois pontos amostrais foram instalados na cidade, um no campus do Instituto Federal Goiano (Ponto 1), área mais afastada do movimento urbano, e outro ponto em área residencial (Ponto 2). Foram realizadas em laboratório as análises de pH, condutividade elétrica (CE), turbidez (Tb), sólidos totais dissolvidos (STD) e mais 13 íons ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ), todos seguindo a metodologia de análise do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. No Ponto 1 os principais íons encontrados foram  $Mg^{2+}$  (55%),  $Ca^{2+}$  (22%),  $Na^+$  (9%),  $F^-$  (7%),  $K^+$  (5%) e  $SO_4^{2-}$  (2%), enquanto no Ponto 2 foram  $Ca^{2+}$  (40%),  $Mg^{2+}$  (20%),  $Na^+$  (13%),  $K^+$  (12%),  $F^-$  (12%) e  $SO_4^{2-}$  (3%). Os valores de pH se apresentaram predominantemente básicos, com média ponderada pelo volume (MPV) de 10,4 para o Ponto 1, e 10 para o Ponto 2. Na análise de CE, os valores de MPV para os dois pontos foram de 36,27 e 29,5 ( $\mu S\ cm^{-1}$ ) respectivamente. Dentre os resultados de STD e Tb, todos ficaram abaixo do limite máximo estipulado pela legislação brasileira para águas doces de Classe 1 (CONAMA 357/2005). A precipitação anual acumulada de 2019 foi de 1.449 mm, enquanto a de 2020 somou 1.346 mm, 10% e 17% menor, respectivamente, que a normal climatológica de 1980 a 2010. As médias mensais de temperatura de todo o período deste estudo ultrapassaram as médias normais climatológicas, com diferenças em alguns meses atingindo até  $3C^\circ$  e  $2,9C^\circ$ . Pode-se concluir com este trabalho que os anos de 2019 e 2020 foram anos mais secos e de maior

temperatura que o normal para a região. Além disso, foi constatado que os íons mais presentes na água da chuva de Rio Verde – GO são  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são de origem da intensa atividade agrícola da região e desempenham papel importante para elevar os valores de pH das chuvas da região, de modo a evitar eventos como chuva ácida.

**Palavras-chave:** Química de precipitação; Deposição úmida; Composição iônica

## ABSTRACT

Atmospheric pollution increased exponentially in recent years due to high economic development on a global scale. Knowing the atmosphere's chemical composition is important for control and execution of mitigation measures to reduce pollution. This study was carried out from September 2019 until December 2020, where the chemical composition of rainwater in Rio Verde, state of Goiás, was analyzed. Two sample points were installed in the city, one on the campus of the Instituto Federal Goiano (Point 1), a fartherst area from the urban movement, and another point in a residential area (Point 2). Lab Analyzes of pH, electrical conductivity (CE), turbidity (Tb), total dissolved solids (STD) and 13 more ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), all following Standard Method's methodology for the Examination of Water and Wastewater. At Point 1 the main ions found were  $\text{Mg}^{2+}$  (55%),  $\text{Ca}^{2+}$  (22%),  $\text{Na}^+$  (9%),  $\text{F}^-$  (7%),  $\text{K}^+$  (5%) and  $\text{SO}_4^{-2}$  (2%), while at Point 2 were  $\text{Ca}^{2+}$  (40%),  $\text{Mg}^{2+}$  (20%),  $\text{Na}^+$  (13%),  $\text{K}^+$  (12%),  $\text{F}^-$  (12%) and  $\text{SO}_4^{-2}$  (3%). The pH values were predominantly basic, with a volume-weighted average (MPV) of 10.4 for Point 1, and 10 for Point 2. In the EC analysis, the MPV values for both points were 36.27 and 29.5 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) respectively. Among the results of STD and Tb, all data were below the maximum limit stipulated by the Brazilian legislation for Class 1 freshwater (CONAMA 357/2005). The accumulated annual precipitation of 2019 was 1449 mm, while that of 2020 added 1346 mm, 10% and 17% less, respectively, than the climatological normal from 1980 to 2010. The monthly temperature averages of the entire period of this study exceeded normal climatological averages, with differences in some months reaching up to 3°C and 2.9°C. With this work it can be concluded that the years 2019 and 2020 were drier years and had a higher temperature than the usual in the region. In addition, it was found that the ions most present in the rainwater of Rio Verde - GO are  $\text{Ca}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , which are the source of

intense agricultural activity in the region and play an important role in raising the pH values of the region's rains.

**Key words:** Precipitation chemistry; Wet deposition; Ionic composition.

### 3.1 Introdução

A poluição atmosférica aumentou exponencialmente nos últimos anos por causa do elevado desenvolvimento econômico em escala global (Zhou et al., 2021). Inúmeros estudos têm documentado que as atividades antrópicas baseadas na queima de combustíveis fósseis, biomassa, atividades industriais e agricultura afetam negativamente a composição química da atmosfera (Dong et al., 2015; Martins et al., 2019; Slovic e Ribeiro, 2018; Zhang et al., 2012a). Além disso, o aumento proporcional no número de casos de doenças respiratórias crônicas e doenças cardiovasculares relacionadas diretamente com os efeitos da qualidade do ar sobre a saúde humana (Forouzanfar et al., 2016; Perlmutter e Cromar, 2019; Song et al., 2017).

A concentração de substâncias poluentes na atmosfera é altamente variada, com a presença de gases como óxidos de enxofre e nitrogênio ( $\text{SO}_x$  e  $\text{NO}_x$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e materiais carbonáceos (Rajeev et al., 2016). Destaca-se ainda, a presença de cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) e ânions ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) dissolvidos, bem como partículas em suspensão, conhecidas como aerossóis (Mimura et al., 2016). Assim como neste estudo, a determinação em meio aquoso de grande parte destes compostos é comumente realizada por cromatografia iônica (Gao et al., 2019).

Neste sentido, a precipitação é uma das principais vias de eliminação de poluentes atmosféricos, no processo denominado deposição úmida (Coelho et al., 2011). Os compostos removidos pela deposição úmida são excelentes indicadores da presença de poluentes atmosféricos e podem fornecer informações sobre o transporte regional e de alcance de determinados poluentes (Niu et al., 2014).

As alterações das características químicas da atmosfera impactam não só diretamente na saúde do homem, mas, também no funcionamento dos ecossistemas (Chakraborty et al., 2016). O elemento  $\text{SO}_4^{2-}$ , por exemplo, é um dos responsáveis pela

formação de chuva ácida (Mimura et al., 2017), enquanto o  $\text{Cl}^-$  é altamente prejudicial e um dos protagonistas nas discussões sobre destruição da camada de ozônio (Sarro, 2016).

Além disso, elementos como  $\text{F}^-$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , em excesso podem afetar negativamente o crescimento de plantas, afetando assim a agricultura (Lemes et al., 2018; Prado et al., 2004; Rodrigues et al., 2017 e 2018a). Os elementos  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  são conhecidos por, quando em excesso, afetar negativamente mananciais e corpos hídricos, causando processos indesejáveis, como a eutrofização e alteração no sabor da água (Quevedo e Paganini, 2017; Silva, 2019).

No abastecimento público, os íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  podem trazer prejuízos afetando diretamente a dureza da água, o que contribui para formação de incrustações e entupimento de canos e tubulações, e afeta o sabor da água (Baumgarten et al., 2014; Braga et al., 2005). Na fauna, principalmente em ovinos, os íons  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$  em excesso podem causar intoxicação, além de serem metais pesados e consequentes bioacumulativos (Guerra, 2008).

A atmosfera é um ambiente extremamente dinâmico, e uma mesma área pode sofrer influência tanto da poluição local, quanto da poluição gerada a quilômetros de distância, que pode ser transportada por fatores ambientais como o vento (Chaithanva et al., 2019). Sendo assim, entender as características da região em estudo é de extrema importância para uma conclusão efetiva.

Os ventos no município de Rio Verde são predominantes da direção norte e velocidade média anual no município é de  $1,4 \pm 0,8 \text{ m s}^{-1}$ , com variação média de calmaria ( $< 1,8 \text{ m s}^{-1}$ ) a brisa amena ( $1,8$  a  $3,3 \text{ m s}^{-1}$ ). Na primavera e no verão (períodos mais quentes) há moderado aumento médio da velocidade do vento devido aos aquecimentos localizados que resultam em precipitação na região (CASTRO e SANTOS, 2021).

Poucos são os trabalhos realizados no território brasileiro com o intuito de avaliação da poluição em nível atmosférico. Quando realizados, o foco principal é em cidades do Sul e Sudeste do país (Cerqueira et al., 2014; Conceição et al., 2011; Gonçalves, 2010; Magalhães et al., 2010). No Centro-Oeste do Brasil, em especial no Estado de Goiás, não foram identificados na literatura grande quantidade de estudos avaliando a composição química das águas pluviais.

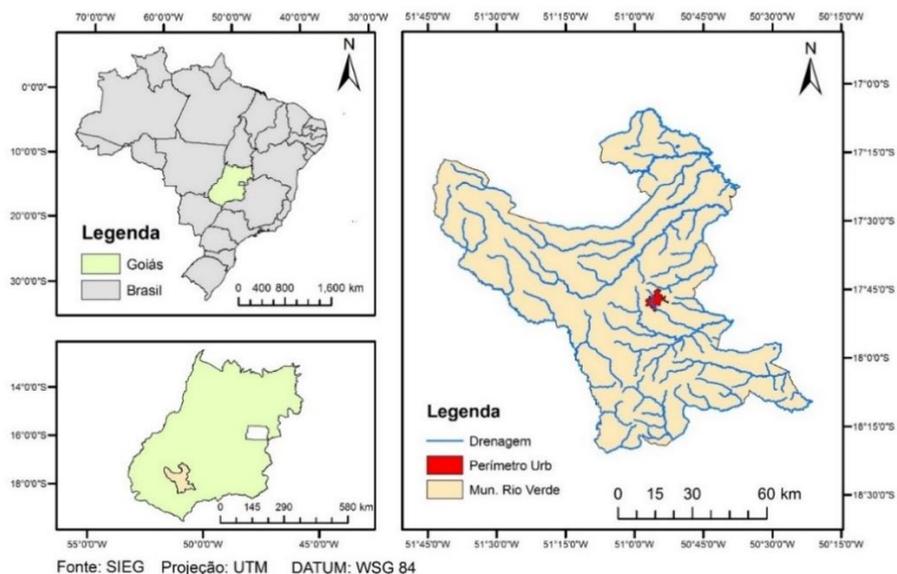
Diversos estudos têm mostrado que as atividades agrícolas contribuem significativamente para a diminuição da qualidade do ar. A cidade de Rio Verde, localizada na região sudoeste de Goiás, é a maior produtora de soja do estado e, também importante produtora de milho e algodão. O município é considerado um polo agroindustrial, contando com grandes indústrias nos ramos de extração e refino do óleo de soja, insumos agrícolas, nutrição animal e frigorífico (Rio Verde, 2015).

Por ser ainda uma região pouco estudada quando se trata de poluição atmosférica, a composição química da chuva em Rio Verde – Goiás ainda é uma incógnita. A alta taxa de atividade agropecuária e o funcionamento de grandes indústrias na cidade podem estar influenciando na qualidade do ar. Este estudo, portanto, teve como objetivo analisar a influência antrópica na composição química da atmosfera por meio de análises químicas e físicas das águas pluviais no sudoeste do Estado de Goiás.

### **3.2 Material e Métodos**

#### **3.2.1 Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo foi o Município de Rio Verde (17°47'53''S e 51°55'53''W) localizado na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás, Centro-Oeste brasileiro. A cidade fica a 220 km de Goiânia, capital do Estado, e a 420 km de Brasília, capital do Brasil (Figura 1). O clima da região é Aw Tropical com estação seca no inverno pela classificação de Köppen e B1 w A', subtipo climático a' de clima megatérmico úmido com DEF moderada no inverno pela classificação de Thornthwaite (Lopes Sobrinho et al., 2020). A média anual da precipitação pluvial é de 1500 mm, e a média anual da temperatura, de 23°C (INMET, 2019).

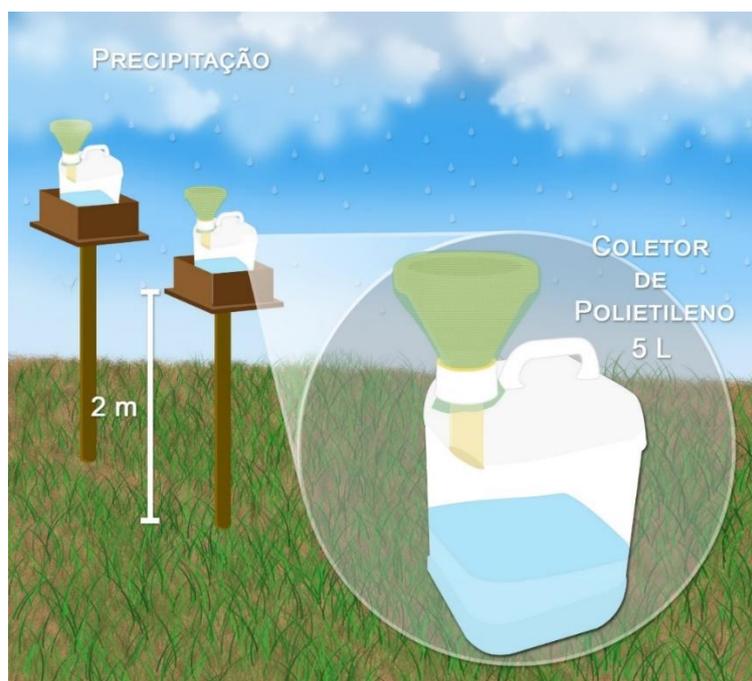


**Figura 1** – Mapa da área de estudo, Município de Rio Verde, Estado de Goiás e Brasil.

### 3.2.2 Coleta e armazenamento das amostras

Na realização deste estudo foram determinados dois pontos no perímetro urbano, com distância de 5,6 km entre eles. A determinação dos pontos amostrais foi feita baseando em outros trabalhos existentes na literatura (Mimura et al. 2016; Conceição et al., 2016; Nadzir et al., 2017). Um ponto ( $17^{\circ}48'24.1''S$   $50^{\circ}54'19.8''W$ ) de coleta foi instalado dentro do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, em frente ao Laboratório de Água e Efluentes, e o outro em uma área residencial ( $17^{\circ}47'36.1''S$   $50^{\circ}57'17.0''W$ ).

Para coleta das amostras de água pluvial foram implantados coletores volumétricos de polietileno com capacidade de 5L acoplados a um funil com abertura de 22cm, instalados em uma estrutura 2m acima do solo e em local aberto para que não houvesse interferência de deposições secas, longe de calhas e telhados. A abertura do funil foi coberta com malha de nylon para evitar contaminação por materiais sólidos grosseiros (folhas, galhos de árvores, insetos etc.) (Figura 2). Antes de todas as coletas, os coletores foram imersos em solução de ácido nítrico a 1% e em seguida limpos com água milli-q (tríplice lavagem), de modo a não influenciar nas amostras.



**Figura 2** – Ilustração do sistema de coleta da água da chuva.

As coletas de amostras aconteceram sempre que o volume mínimo de chuva em 24 horas atingisse 6mm (no pluviômetro), quantidade necessária para a coleta de ao menos 400ml, somando os dois coletores instalados, quantidade mínima para realização das análises. As amostras coletadas em eventos de chuva que não atingiram o volume mínimo foram descartadas. Antes do início da precipitação, os coletores eram colocados nas estruturas, e ao fim da mesma as amostras eram destinadas aos laboratórios para posterior análise. Deste modo, a sazonalidade das amostras variou de acordo com mês do ano e fatores meteorológicos, totalizando 48 amostras coletadas e analisadas (Tabela 1).

O início do período de estiagem em Rio Verde varia entre os dias 24/05 e 17/06 e o retorno das chuvas acontece entre os dias 23/08 e 11/10 (Thiesen et al., 2018), comportamento este que pôde ser confirmado durante o período de estudo. Entre os meses de junho, julho e agosto, como não houve chuva, não foi possível a realização de coletas.

**Tabela 1** – Quantidade de amostras mensais coletadas durante o período de estudo.

Mês/Ano	Quantidade de amostras	Mês/Ano	Quantidade de amostras
set/19	2	mai/20	1
out/19	2	jun/20	0
nov/19	7	jul/20	0
dez/19	8	ago/20	0
jan/20	5	set/20	1
fev/20	2	out/20	8
mar/20	4	nov/20	2
abr/20	2	dez/20	4

### 3.2.3 Análises físico-químicas

As análises físicas e o potencial de hidrogênio (pH) da água da chuva foram realizadas imediatamente após o evento de chuva, e executadas no laboratório de Água e Efluentes do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, todas em triplicata. Os parâmetros determinados foram o pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez (Tb).

O pH foi determinado utilizando um medidor portátil Orion Star modelo A221. A condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram determinadas utilizando um condutivímetro de bancada SensIon7 da Hach. A turbidez foi determinada através de um turbidímetro modelo 2100p da Hach.

As análises químicas foram realizadas em laboratório particular na cidade de Rio Verde - GO. Todas as determinações foram feitas seguindo a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Os parâmetros analisados por colorimetria foram Cloro ( $\text{Cl}^-$ ), Flúor ( $\text{F}^-$ ), Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), Ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), a espectrofotometria de emissão atômica foi utilizada para determinar Cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Chumbo ( $\text{Pb}^{2+}$ ), Potássio ( $\text{K}^+$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Sódio ( $\text{Na}^+$ ); as concentrações de Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) foram determinadas por método gravimétrico; enquanto o Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foi determinado por eletrodo e o Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) por titulometria do EDTA.

### 3.2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos temperatura e precipitação dos anos de 2019 e 2020, e normal climatológica (1981-2010) foram obtidos no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia; <http://www.inmet.gov.br/>) da Estação Meteorológica Convencional de Rio Verde – GO (83470).

### 3.2.5 Análises dos dados

As concentrações dos íons que foram obtidas em  $\text{mg L}^{-1}$  foram convertidas para  $\text{mmol L}^{-1}$  e em seguida transformadas em  $\mu\text{eq L}^{-1}$  de forma a padronizar os dados e comparar com os estudos já existentes, que em sua maioria trazem os dados nessa unidade. A unidade equivalente (eq) representa a quantidade em gramas de uma dada substância que pode reagir com um mol de elétrons (Inczedy et al., 1998). A transformação de mol para eq é feita pela Equação 1:

$$Eq = \frac{mol}{valência} \quad \text{Eq (1)}$$

O valor de todas as concentrações foi expresso como Média Ponderada pelo Volume (MPV), calculado por meio da Equação 2:

$$MPV = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad \text{Eq (2)}$$

Em que, MPV = Média Ponderada pelo Volume ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ),  $C_i$  = concentração ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) do elemento mensurado no evento e  $V_i$  = volume de precipitação (L) no evento.

As análises de correlação dos parâmetros químicos e físico-químicos com as variáveis meteorológicas foram realizadas utilizando o método de Pearson, pelo *software* R de livre acesso.

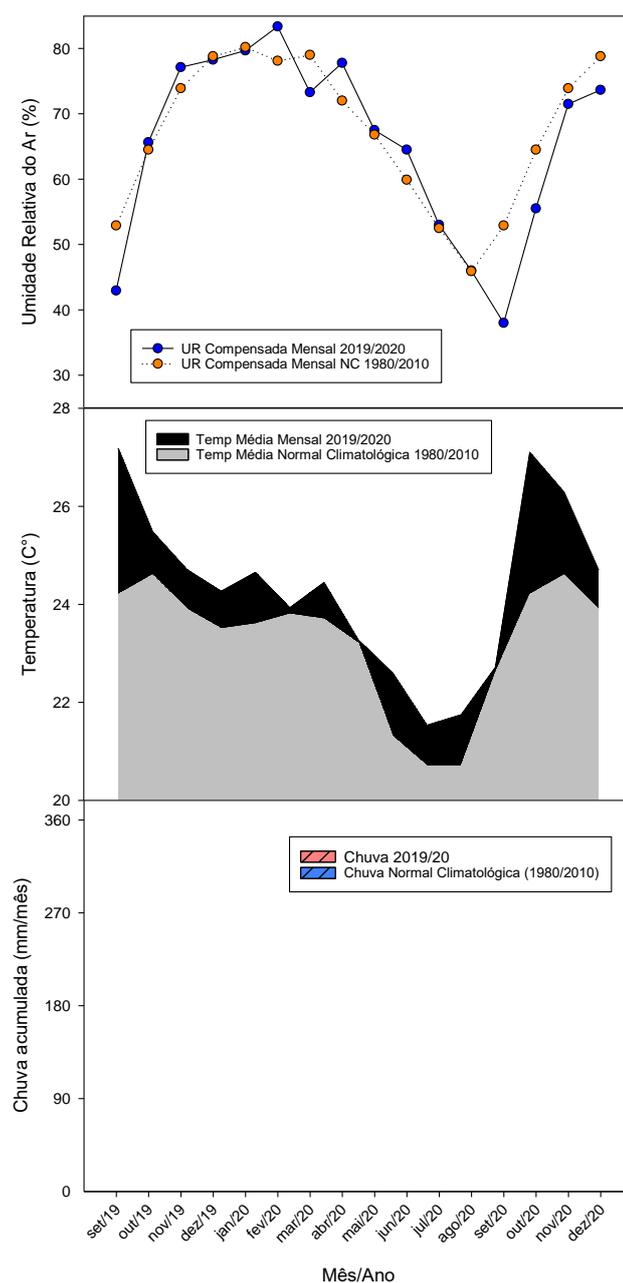
As médias e os intervalos de confiança ( $\pm 95\%$ ) dos resultados analíticos foram calculadas pelo processo de reamostragem aleatória utilizando bootstrapping de 1000 iterações no Software R (EFRON e TIBSHIRANI, 1993). O intervalo de confiança é uma alternativa ao teste de hipóteses, porque ele fornece informações sobre a probabilidade do efeito do sinal (BERRY, 1986; GARDNER & ALTMAN, 1986; BRANDSTÄTTER & LINS, 1999).

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Caracterização micrometeorológica de Rio Verde – GO

A precipitação anual acumulada de 2019 foi de 1449 mm, enquanto a de 2020 somou 1346 mm, 10 e 17% menor, respectivamente, que a normal climatológica de 1980 a 2010 para Rio Verde – GO (Figura 3).

Dentre os meses analisados de 2019, somente novembro apresentou volume maior que o valor normal para o mês, aumento de aproximadamente 31%. Os meses de setembro, outubro e dezembro apresentaram redução, com taxas de 37%, 2% e 8%, respectivamente.



**Figura 3** – Normal climatológica (1980-2010) e médias mensais de Umidade Relativa do Ar (UR), Temperatura Média (Temp) e Chuva entre 2019 e 2020 para Rio Verde – GO.

Considerando o ano de 2020, janeiro, fevereiro e maio foram os meses que os valores de chuva ultrapassaram a média normal, com aumento de 13%, 63% e 44%, respectivamente. No estudo de Lopes Sobrinho et al. (2020), a média de precipitação entre os anos de 2004 e 2018 atingiram os valores de 225 mm (janeiro), 251 mm (fevereiro) e 29 mm (maio), diferença de 24,5%, 27,2% e 46,8%, respectivamente. A época de seca foi bem evidenciada nos meses de junho, julho e agosto, os quais não constou em registro qualquer chuva, distinguindo da média normal. Entre os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro foi observado aumento crescente nos valores de precipitação, corroborando com a média sazonal da região.

Durante todo o período de estudo, as médias mensais de umidade relativa do ar, quando comparadas com as normais climatológicas, apresentaram maior variação nos meses de set/19 (9,9%), set/20 (14,9%) e out/20 (9%), todas de forma negativa. Esse mesmo grau de variação pode ser observado nas médias mensais de temperatura do ar, que durante os mesmos meses destacados apresentaram aumento de 3C°, 2,9C° e 1,7C°, respectivamente. Desta forma, é possível atribuir uma relação entre esses dois parâmetros, assim como observado no estudo de Masiero e Souza (2013), em que menores valores de umidade resultaram em aumento na temperatura do ar.

As médias mensais de temperatura do ar de todo o período em que o estudo foi realizado ultrapassaram as médias normais climatológicas em todos os seus respectivos meses. Os meses que apresentaram menor variação em relação a normal climatológica foram fevereiro, abril e agosto de 2020, apresentando diferença de apenas 0,1C°.

O aumento expressivo da temperatura do ar e a concorrente diminuição da média de precipitação podem estar ligados. Nos estudos de Tomasella et al. (2009) e Silveira et al. (2016) foram registradas projeções com comportamento semelhante aos dados de Rio Verde. Ambos os autores associam estes resultados à intensificação do efeito estufa no mundo. De acordo com dados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), desde o início da industrialização a superfície terrena aumentou 1°C na temperatura média, mudança que afeta também todo o ciclo hidrológico (Solomon et al., 2007).

### 3.3.2 Avaliação espacial da composição química das chuvas em Rio Verde - GO

O Ponto 2 apresentou as maiores MPV para todos os íons analisados, com exceção do íon  $\text{PO}_4^{3-}$ , em relação ao Ponto 1 (Tabela 2). As maiores diferenças entre os pontos analisados ocorreram para os íons  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , com 60%, 49% e 48%, respectivamente. As menores diferenças entre os pontos analisados ocorreram para os íons  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$  e  $\text{F}^-$ , com 0%, 9% e 14% de diferença, respectivamente.

**Tabela 2** – Média Ponderada pelo Volume (MPV) e intervalo de confiança de pH, condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), e concentração ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos íons quantificados nas chuvas de Rio Verde.

	MP V Ponto 1	MPV Ponto 2
$\text{SO}_4^{2-}$	4,51±0,9	5,28±1,5
$\text{Cl}^-$	1,97±2,05	2,9±2,1
$\text{F}^-$	17,97±10,8	20,87±12,7
$\text{Al}^{3+}$	0,3±0,12	0,46±0,24
$\text{Fe}^{2+}$	0,0005±0,00035	0,0006±0,0003
$\text{Cu}^{2+}$	0,0005±0,0004	0,0005±0,0004
$\text{Pb}^{2+}$	0,00004±0,0002	0,0001±0,0001
$\text{K}^+$	18,04±12,06	35,23±29,6
$\text{NO}_3^-$	2,1±1,7	3,95±2,3
$\text{Na}^+$	32,7±25,7	35,67±20,8
$\text{Ca}^{2+}$	82,62±55,8	133,07±112,3
$\text{PO}_4^{3-}$	0,2±0,13	0,13±0,1
$\text{Mg}^{2+}$	33,03±12,6	63,22±68,7
pH	10,15±1,1	9,57±0,96
Tb	5,97±4,06	6,92±3,8
CE	41,47±27,8	32,13±13,6
STD	19,31±13,6	14,71±6,6

A maior presença de  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  no Ponto 2 pode ser explicada pela proximidade ao setor industrial da cidade, que conta com indústria siderúrgica e de embalagens plásticas, potenciais emissores de chumbo (Capitani et al, 2009) e indústrias de fertilizantes, possíveis emissores de potássio (Oliveira, 2012).

O Ponto 1 apresentou maiores MPV de pH, CE, STD e menor MPV de turbidez em relação ao Ponto 2. O pH, CE e SD do ponto 1 foram 6%, 23% e 24% maior do que no ponto 2. Não houve diferenças significativas entre os parâmetros dos pontos analisados.

A hipótese levantada em relação a maior variação de pH, CE e STD pode ser explicada pelo maior tráfego de veículos e maquinários agrícola, que consequentemente provoca maior suspensão de material particulado na atmosfera, potencializando o valor medido para estes parâmetros.

Dentre os elementos analisados, e seguindo as concentrações de MPV, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  (82,62  $\mu\text{eq L}^{-1}$  no Ponto 1 e 133,07  $\mu\text{eq L}^{-1}$  no Ponto 2) e  $\text{Mg}^{2+}$  (33,03  $\mu\text{eq L}^{-1}$  no Ponto 1 e 63,22  $\mu\text{eq L}^{-1}$  no Ponto 2) foram os mais abundantes na água da chuva. As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  foram maiores que as observadas em estudos realizados em cidades brasileiras, como Juiz de Fora (39,6  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Cerqueira et al., 2014), Cubatão (33,7  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Vieira-Filho et al., 2015) e Manaus (29,7  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Honório et al., 2010). Na literatura não foram observados estudos brasileiros que indicam concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  superiores às encontradas em Rio Verde, como por exemplo em cidades como São Paulo (3,3  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Fontenele et al., 2009) e Rio de Janeiro (19,5  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Mello, 2001).

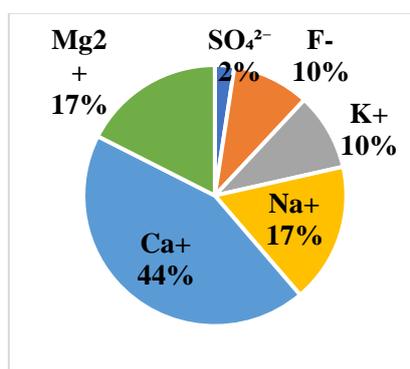
As elevadas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  podem ser explicadas pela alta dissolução de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ ) proveniente da grande quantidade de calcário utilizado na agricultura para a correção do solo ácido da região. Situação semelhante foi observada na bacia do Alto Sorocaba (114  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , Conceição et al., 2011). As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  podem explicar também os altos valores de pH.

O  $\text{Mg}^{2+}$  é um elemento pouco relacionado às ações antrópicas, sendo na maioria das vezes atribuído às contribuições geológicas, como nos estudos de Báez et al. (2007) e Zhang et al. (2012b). As concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  determinadas nas águas da chuva de Rio Verde também podem ser relacionadas ao solo. No mapa geológico de Goiás fornecido pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016) é possível verificar a presença de formações rochosas vulcânicas de natureza basáltica ricas em  $\text{Mg}^{2+}$  na região onde a cidade se encontra. Desta forma, com as atividades de preparação do solo e alto tráfego de veículos em estradas não pavimentadas, há o acarretamento da suspensão de alta quantidade de particulados. Além disso, as concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  podem receber contribuições da vegetação, uma vez que é um elemento que constitui a clorofila e por meio do processo de transpiração da planta pode ser emitido para a atmosfera (Araújo et al., 2015; Beal et al., 2021).

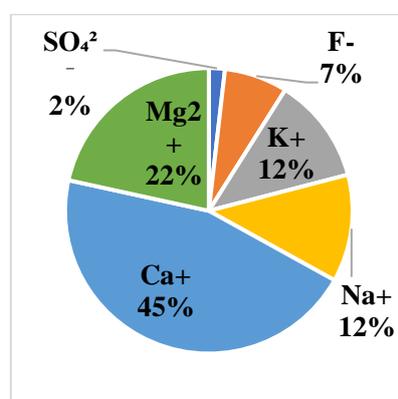
A cidade de Rio Verde está distante da costa brasileira, cerca de 870km de distância do oceano Atlântico, e, consequentemente a composição atmosférica não sofre

grande influência marinha. As concentrações de  $\text{Na}^+$  foram as terceiras maiores na composição da água da chuva neste estudo, entretanto, os resultados encontrados são relativamente baixos quando comparados com os determinados em cidades próximas a costa, como em Ilhas Grande, no Rio de Janeiro ( $142,2 \mu\text{eq L}^{-1}$ , Souza et al., 2006) e em Cubatão, em São Paulo ( $73,7 \mu\text{eq L}^{-1}$ , Vieira-Filho et al., 2015).

Nos Pontos 1 e 2, as concentrações de cátions diminuíram na ordem  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ , enquanto em referente aos ânions a ordem foi  $\text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ . Também analisando as concentrações de MPV, a soma catiônica no Ponto 1 foi de 166,69 e no Ponto 2 o valor foi de 267,65. A soma aniônica do Ponto 1 resultou em 26,75 e do Ponto 2 em 33,13. A distribuição em porcentagem dos principais íons no Ponto 1 é mostrada na Figura 4 e do Ponto 2 na Figura 5.



**Figura 4** - Distribuição percentual baseada na concentração dos principais íons na água da chuva do Ponto 1.



**Figura 5** - Distribuição percentual baseada na concentração dos principais íons na água da chuva do Ponto 2.

### 3.3.3 Avaliação temporal da composição química das chuvas em Rio Verde – GO

### 3.3.3.1 Íons

Durante os 13 meses em que foram coletadas amostras, os ânions que apresentaram maior variação nas concentrações foram  $F^-$  e  $NO_3^-$  (Tabela 3). No mês de novembro de 2020 o  $F^-$  atingiu a variação de 99,14% em relação aos meses de menor concentração (fev/20–set/20). A maior concentração de  $NO_3^-$  foi medida em outubro de 2020, e apresentou variação de 98,48% em comparação com o menor valor, identificado em novembro de 2019.

Dentre as possíveis fontes antrópicas de emissão do flúor na atmosfera, na região em estudo, pode-se citar as indústrias de fertilizantes (Rodrigues et al., 2018b), que podem variar suas emissões ao longo do ano. O  $NO_3^-$  está entre os produtos da combustão de óleo diesel, portanto o alto tráfego de caminhões e máquinas agrícolas alimentadas por esse combustível contribui para o aumento deste gás na composição da atmosfera, podendo explicar as concentrações de  $NO_3^-$  nos meses de início das chuvas (Kaya e Tuncel, 1997).

**Tabela 3** – Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações ( $\mu eq L^{-1}$ ) dos ânions quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde, GO.

Período	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$F^-$	$NO_3^-$	$PO_4^{3-}$
set/19	7,98	4,29	38,42	4,84	0,16
out/19	5,32	3,00	32,63	5,73	0,18
nov/19	5,32	1,35	29,35	0,12	0,09
dez/19	5,32	1,87	45,51	0,73	0,65
jan/20	8,35	0,29	1,74	1,42	0,04
fev/20	5,32	0,29	0,53	0,16	0,04
mar/20	5,32	0,29	0,53	0,16	0,04
abr/20	5,32	0,29	0,53	1,61	0,04
mai/20	5,32	0,29	0,53	0,16	0,04
set/20	1,60	-	0,53	1,61	-
out/20	5,42	1,97	30,91	10,52	0,13
nov/20	0,53	0,29	61,58	4,11	0,00
dez/20	2,97	14,29	0,95	7,22	0,60

Entre os oito cátions quantificados, seis apresentaram comportamento semelhante referente ao mês em que foi identificada a menor concentração (Tabela 4).  $\text{Al}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  apresentaram suas menores concentrações no mês de novembro de 2019, enquanto a menor medição dos íons  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foi identificada em novembro de 2020. Vale salientar que em 2019, o mês de novembro apresentou um dos maiores volumes de precipitação daquele ano (314 mm), fato que não ocorreu no mesmo mês do ano de 2020 (135 mm).

**Tabela 4** – Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos cátions quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.

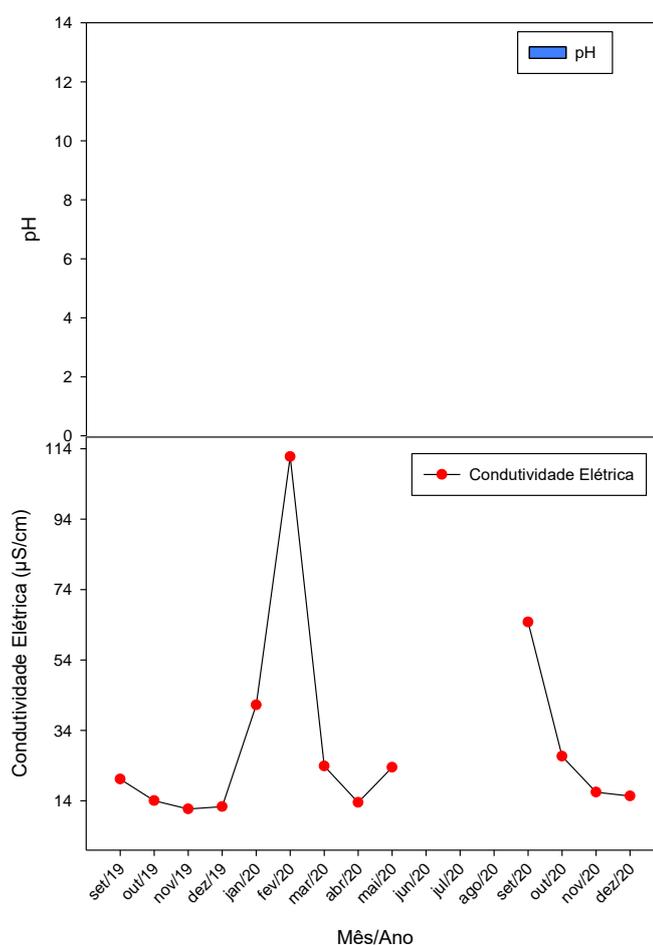
Período	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
set/19	0,53	0,00112	0,00013	0,00035	67,28	23,20	676,31	25,58
out/19	0,92	0,00058	0,00010	0,00031	2,83	13,26	95,69	312,29
nov/19	0,09	0,00087	0,00017	0,00027	0,54	2,24	62,14	33,54
dez/19	0,20	0,00082	0,00026	0,00023	11,23	4,27	76,63	23,24
jan/20	0,10	0,00157	0,00279	0,00002	51,68	99,07	12,50	20,83
fev/20	0,49	0,00089	0,00078	0,00002	25,13	127,83	53,00	20,83
mar/20	0,12	0,00014	0,00045	0,00005	86,28	40,96	85,16	39,83
abr/20	0,12	0,00017	0,00054	0,00003	8,69	39,46	89,75	42,92
mai/20	0,12	0,00089	0,00023	0,00002	156,92	24,26	68,75	28,75
set/20	-	-	-	-	-	-	112,50	-
out/20	0,68	0,00019	0,00010	0,00003	4,38	8,87	18,39	13,33
nov/20	0,55	0,00009	0,00030	0,00002	0,90	4,50	8,01	2,45
dez/20	0,61	0,00009	0,00001	0,00000	0,89	6,10	36,24	6,28

Os cátions que apresentaram maior variação no decorrer dos meses deste estudo foram  $\text{K}^+$  e  $\text{Cu}^{2+}$ . A maior concentração de  $\text{K}^+$  foi medida no mês de maio de 2020, apresentando variação de 99,65% em relação a menor medição, citada anteriormente. Altos teores de  $\text{K}^+$  podem estar relacionados aos eventos de queimadas que ocorrem na região, abrangendo florestas e atividades agrícolas e pastoris (Vieira-Filho et al., 2013). A maior variação do íon  $\text{Cu}^{2+}$  também atingiu 99,65%, dessa vez no mês de janeiro de 2020 em relação ao mês de dezembro de 2020, menor concentração quantificada. De acordo com a Cetesb (2012), atividades como mineração, fundição, incineração de

resíduos municipais e agricultura (de forma menos relevante) são potenciais fontes antrópicas de emissão de  $\text{Cu}^{2+}$  na atmosfera.

### 3.3.3.2 pH e Condutividade Elétrica

As características de pH das chuvas de Rio Verde foram predominantemente alcalinas no período experimental (Figura 6). Durante todo o período de estudo, as variações de pH foram poucas (entre 1,7% e 27,18%), com exceção do mês de setembro de 2020, em que a variação foi de -63% em relação ao mês de maior pH medido (abril de 2020). Somente na amostra deste mês o pH atingiu valor considerado ácido (4,2). Tal mês é caracterizado como período de transição entre o período seco e chuvoso.



**Figura 6** – Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações de pH e Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.

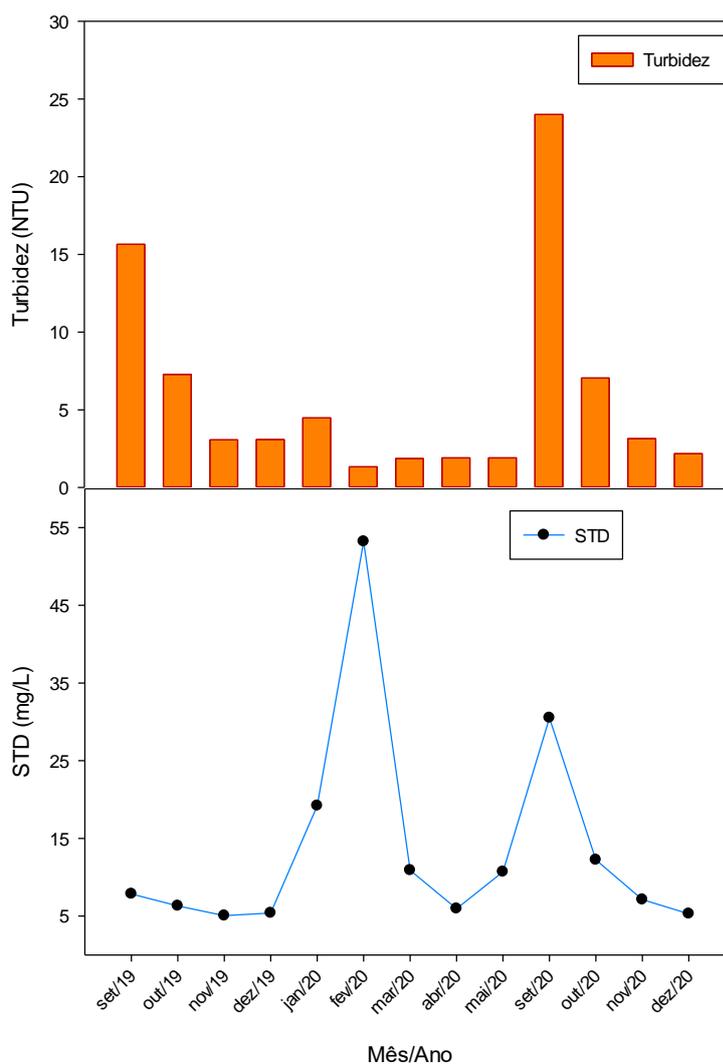
Outros estudos semelhantes foram realizados no Brasil, entretanto, em sua maioria o pH encontrado foi ligeiramente ácido. Na região sudeste, em cidades como Campinas (pH<4,8, Lara et al., 2001), Limeira (pH < 6,9, Martins et al., 2019) e Juiz de Fora (pH < 7,10, Mimura et al., 2016); na região sul, em Londrina (pH < 6,63, Pelicho et al., 2006) e Porto Alegre (pH < 5,93, Migliavacca et al., 2012); e na região norte nas cidade de Manaus, Boa Vista e Apuí (pH < 4,6, Honório et al., 2010).

No estudo de Conceição et al. (2016), os valores (MPV) para condutividade na cidade de Catalão foi de 10,05  $\mu\text{S cm}^{-1}$  e em Tapira foi 9,51  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . A condutividade elétrica é a medida da quantidade de corrente elétrica que um material pode transportar, desta forma, no caso das amostras, o valor de condutividade está diretamente ligado a quantidade de íons solúveis na água da chuva. Portanto, valores mais baixos de condutividade elétrica refletem amostras de boa qualidade ou maior diluição (Zhang et al., 2007; Martins et al., 2019).

#### 3.3.3.3 Turbidez (Tb) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Não foram encontrados estudos de avaliação da composição química atmosférica que analisaram Tb e STD. Portanto, os dados foram comparados com as Legislações e Normas Brasileiras. A CONAMA 357/2005, que institui os valores máximos permitidos de determinados parâmetros em corpos hídricos, determina que para copos hídricos Classe I a turbidez deve estar abaixo de 40 NTU, portanto, neste estudo, os padrões estariam em conformidade (Figura 7). A Portaria N° 2.914 do Ministério da Saúde (2011) institui padrões de potabilidade da água para consumo humano e estabelece o valor máximo permitido de 1 NTU, portanto, as chuvas de Rio Verde estão fora do padrão de potabilidade em todos os meses analisados.

Para usos menos restritivos, como por exemplo em lava-jatos, a NBR 13.969 (ABNT, 1997) estabelece o valor máximo para Tb de 5 NTU, em Rio Verde, somente nos meses de setembro e outubro essa água não deveria ser utilizada para tal fim. Os resultados mostram que dentre os meses em que houve coleta de água, os que apresentaram menor índice pluviométrico (setembro de 2019 e 2020), foram os que revelaram maiores valores de turbidez, resultado de uma remoção dos compostos em suspensão no ar.



**Figura 7** – Média Aritmética da Média Ponderada pelo Volume (MPV) Mensal das concentrações de Turbidez (NTU) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD – mg L) quantificados nas chuvas registradas no Ponto 1 e Ponto 2 em Rio Verde.

Para o parâmetro Sólidos Totais Dissolvidos, a Legislação Brasileira (CONAMA 357/2005) determina concentração máxima de 500 mg/L para águas doces Classe 1, enquanto para consumo humano a concentração máxima é de 1000 mg/L (Ministério da Saúde, 2011) e para uso secundário é de 200mg/L (ABNT, 1997). Deste modo, todas as amostras analisadas apresentaram conformidade nos resultados. A maior concentração foi registrada em fevereiro de 2020 (53,2 mg/L).

### 3.3.4 Avaliação sazonal da composição química das chuvas em Rio Verde – GO

A Tabela 5 apresenta os resultados deste estudo, em MPV, dividindo o período seco e o período chuvoso em ambos os pontos amostrais. Em Rio Verde, período seco é definido como o período entre os meses de maio a setembro, enquanto o período chuvoso tem seu início no mês de outubro e seu final em abril (Lopes Sobrinho et al., 2020).

**Tabela 5** – Média Ponderada pelo Volume (MPV) de pH, condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), e concentração ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) dos íons quantificados nas chuvas de Rio Verde, divididos entre período seco e chuvoso.

	Ponto 1		Ponto 2	
	Período Seco	Período Chuvoso	Período Seco	Período Chuvoso
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,33	4,98	8,44	5,62
Cl <sup>-</sup>	3,22	1,38	3,03	2,58
F <sup>-</sup>	35,87	19,54	20,95	28,05
Al <sup>3+</sup>	0,5	0,27	0,47	0,3
Fe <sup>2+</sup>	0,95	0,63	1,26	0,74
Cu <sup>2+</sup>	0,78	0,52	0,17	0,6
Pb <sup>2+</sup>	0,36	0,11	0,22	0,18
K <sup>+</sup>	57,25	11,48	93,61	22,34
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,93	2,33	3,86	2,97
Na <sup>+</sup>	73,24	27,9	53,39	28,06
Ca <sup>+</sup>	881,4	86,97	566,98	62,14
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,15	0,04	0,13	0,2
Mg <sup>2+</sup>	103,91	169,47	18,72	45,8
pH	9,03	10,54	8,9	9,83
Turbidez	8,91	2,58	18,38	3,85
Condutividade	20,99	23,48	45,27	26,13
STD	9,22	10,72	20,29	12

Nos dois pontos amostrais analisados, dez parâmetros apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, no período seco apresentaram aumento considerável em relação ao tempo chuvoso. Os parâmetros foram SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Turbidez. Este comportamento, assim como descrito por Conceição et al. (2016), pode estar relacionado com o período seco que há maior quantidade de partículas em suspensão, resultando na maior concentração de alguns elementos e compostos nos eventos de precipitação. As maiores variações podem ser observadas nos íons K<sup>+</sup> e Ca<sup>+</sup>, que podem também ser explicadas porque o período seco, principalmente setembro, é o

período de preparo do solo com fertilizantes para o início da semeadura da cultura de soja na região.

### 3.3.5 Comparação entre estudos

A Tabela 6 (cátions) e Tabela 7 (ânions, pH e CE) apresentam a composição química da água da chuva (MPV) em diferentes cidades brasileiras, entre elas Bom Jesus do Sul (PR, Beal et al., 2021), Limeira (SP, Martins et al., 2019), Manaus e Boa Vista (AM e RR, Honório et al. 2010), Juiz de Fora (SP, Mimura et al., 2016), Cubatão (SP, Vieira-Filho et al., 2015), Porto Alegre (RS, Migliavacca et al., 2005) e Catalão (GO, Conceição et al., 2016). Para os valores de Rio Verde foi tirada a média entre as concentrações (MPV) do Ponto 1 e Ponto 2.

**Tabela 6** – Concentrações de cátions ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ) nas águas pluviais em Rio Verde (este estudo) e em outras cidades do Brasil.

Localizações	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Rio Verde (GO)	0,295	0,7	0,555	0,16	20,89	27,76	76,04	103,55
Bom Jesus do Sul (PR)		0,01	0,0005	-	0,26	0,07	13,9	0,19
Limeira (SP)	-	-	-	-	5,68	22,39	54,88	17,4
Manaus (AM)	0,951	0,312	0,055	0,001	3,2	15,4	17,1	2,1
Juiz de Fora (SP)	-	-	0,089	0,0118	16	29,1	31,9	13,8
Cubatão (SP)	-	-	-	-	6,7	73,7	33,7	11,9
Boa Vista (RR)	1,95	0,426	0,077	0,004	4,5	55,9	52,4	4,4
Porto Alegre (RS)	-	-	-	-	6,23	16	28,6	11,2
Catalão (GO)	-	-	-	-	12,57	39,86	82,92	22,04

**Tabela 7** – Concentrações de ânions ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ ), pH e condutividade elétrica (CE) ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nas águas pluviais em Rio Verde (este estudo) e em outras cidades do Brasil.

Localizações	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	pH	CE
Rio Verde (GO)	5,41	2,01	24,09	2,59	0,215	10,2	29,5
Bom Jesus do Sul (PR)	0,09	0,13	0,03	0,41	-	6,2	-
Limeira (SP)	15,64	7,06	-	14,73	-	5,62	16,6
Manaus (AM)	9,5	10,1	-	12,3	-	4,1	8,3
Juiz de Fora (SP)	3	18,3	-	25,6	-	6,6	17,1
Cubatão (SP)	40,7	109	-	33,4	-	4,8	-
Boa Vista (RR)	1,6	10,2	-	4,7	-	4,5	4,6
Porto Alegre (RS)	26,4	13,3	6,43	4,65	-	6,06	13,2
Catalão (GO)	7,29	1,03	4,21	7,27	5	6,5	10,05

Na porção catiônica, somente a concentração de Al<sup>3+</sup> pode ser considerada relativamente baixa, quando comparadas com as outras cidades. Boa Vista por exemplo, apresentou concentração seis vezes maior para este elemento, em relação a este estudo.

Dentre os estudos brasileiros que quantificaram concentrações de elementos traços encontrados na literatura, as concentrações em Rio Verde foram as maiores encontradas, para Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup>. Comparando os dados com outros lugares pelo mundo, a Cidade do México (Báez et al., 2007) apresentou concentração de chumbo de 3,81 µeq L<sup>-1</sup>, enquanto as concentrações de cobre e ferro foram de 4,42 e 484,01 µeq L<sup>-1</sup>, respectivamente, na cidade de Istambul (Basak e Alagha, 2006).

Dentre as cidades na Tabela 6 o íon K<sup>+</sup> apresentou maior concentração na cidade de Rio Verde. Na cidade de Catalão – GO, Conceição et al. (2016) associa as concentrações de K<sup>+</sup> (12,57 µeq L<sup>-1</sup>) à poeira do solo derivada de rochas carbonáticas, enquanto em São Paulo – SP (Vieira-Filho et al., 2013) onde a concentração máxima de K<sup>+</sup> atingiu 10,9 µeq L<sup>-1</sup>, é associada com as queimadas da região.

Em relação às concentrações de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, a cidade Rio Verde (76,04 µeq L<sup>-1</sup> e 103,55 µeq L<sup>-1</sup>) ficou atrás somente da cidade de Catalão - GO (82,92 µeq L<sup>-1</sup> e 22,04 µeq L<sup>-1</sup>). No estudo de Conceição et al. (2016) atribui as altas concentrações destes íons às intensas atividades de construção na região, além da mineração em rochas carbonáticas.

Tratando da porção aniônica, as concentrações de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram consideravelmente inferiores quando comparadas com as outras cidades brasileiras. Na megacidade de São Paulo (Vieira-Filho et al., 2013), nitrato (20,3) e sulfato (12,2) foram os íons de maior concentração identificados na água da chuva. Estes compostos são

considerados os mais relevantes para a formação da chuva ácida, e sua presença é comumente relacionada à poluição industrial e de veículos automotores (Martins et al., 2018; Kotowski et al., 2020), fenômeno que não ocorreu em Rio Verde. Segundo dados do IBGE (2018), Rio Verde possui uma frota de 139.977 veículos, enquanto Porto Alegre apresenta 880.282 e São Paulo 8.295.645.

Neste estudo a concentração de  $F^-$  ( $24,09 \mu\text{eq L}^{-1}$ ) teve grande variação quando comparada com as cidades brasileiras de Bom Jesus do Sul ( $0,03 \mu\text{eq L}^{-1}$ ), Porto Alegre ( $6,43$ ) e Catalão ( $4,21 \mu\text{eq L}^{-1}$ ). No estudo de Zhu et al. (2016), a concentração de  $F^-$  na água da chuva de Guiyang, na China, atingiu  $29,8 \mu\text{eq L}^{-1}$ , e foi justificada pela alta taxa de uso de fertilizantes na região. Em relação a cidade de Rio Verde, a concentração de íons de  $PO_4^{3-}$  encontrada na cidade Catalão ( $5 \mu\text{eq L}^{-1}$ ), teve uma diferença de 95,4%, o que no estudo de Conceição et al. (2016) é explicado pelas intensas atividades de mineração na cidade, e a emissão de material particulado na atmosfera, especialmente provenientes da apatita, rica em fosfato.

### 3.4 Conclusões

Altas concentrações de  $Ca^+$  e  $Mg^{2+}$  foram encontradas nas chuvas de Rio Verde – GO no período entre setembro de 2019 e dezembro de 2020. Possivelmente, esses compostos foram emitidos pela alta produção agrícola da região, considerando que os meses em que foram observadas as maiores concentrações coincidem com os meses de tratamento do solo para o início do plantio. Outro elemento que pode ter sofrido influência do mesmo motivo foi o  $F^-$ , que apresentou altas concentrações.

Altos teores de  $K^+$  também foram identificados neste estudo, juntamente com o  $Mg^{2+}$  este elemento é altamente emitido em eventos de queimadas, e pode ter influenciado nestas concentrações.

Os resultados dos elementos traços  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  e  $Pb^{2+}$  foram elevados comparados aos encontrados em outras cidades brasileiras. A nível mundial, estudos realizados em outros países apresentaram valores superiores ao deste trabalho.

Concentrações de  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  e  $NO_3^-$ , em relação a outros estudos, podem ser considerados baixos na cidade Rio Verde – GO. Regiões em que  $SO_4^{2-}$  e  $NO_3^-$  estão

presentes demasiadamente na atmosfera sofrem com o fenômeno de chuva ácida, fato que não ocorre em Rio Verde.

Os valores de pH se apresentaram altamente básicos, influenciados também pela alta concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ , que são fortes neutralizadores de ácidos. A Condutividade Elétrica apresentou elevados valores, resultado da alta presença de íons solúveis na amostra.

### 3.5 Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969, Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, 1997.

THIESEN ACO, CARVALHO R, CABRAL RF, CASTRO PAL & SANTOS GO. 2018. Intervalo de dias sem chuva no Município de Rio Verde, Goiás. XLVII Cong. Brasileiro de Eng. Agr. – CONBEA.

ARAÚJO TG, SOUZA MFL, MELLO WZ & SILVA DML. 2015. Bulk atmospheric deposition of major ions and dissolved organic nitrogen in the lower course of a tropical river basin, southern Bahia, Brazil. J. Braz. Chem. Soc. 26: 1692-1701.

BÁEZ A, BELMONT R, GARCÍA R, PADILLA H & TORRES MC. 2007. Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico. Atmos. Res. 86: 61-75.

BAŞAK B & ALAGHA O. 2006. The chemical composition of rainwater over Büyükçekmece Lake, Istanbul. Atmos. Res. 71: 275-288.

BEAL A, MARTINS LD, MARTINS JA, RUDKEC AP, DE ALMEIDA DS, COSTA LM & TARLEYAE CRT. 2021. Evaluation of the chemical composition of hailstones from triple border Paraná, Santa Catarina (Brazil) and Argentina. Atmos. Pollut. Res. 12: 184-192.

BERRY G. Statistical significance and confidence intervals. 1986. Med J Aust. 144: 618-619.

BRAGA B, HESPANHOL I, CONEJO JGL, MIERZWA JC, BARROS MTL, SPENCER M, PORTO M, NUCCI N, JULIANO N & EIGER S. 2005. Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

BRANDSTÄTTER E & LINZ JKU. 1999. Confidence Intervals as an Alternative to Significance Testing. *Met. Psy. Res. Online* 4: 33-46.

CASTRO PAL de & SANTOS GO. 2021. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de Rio Verde, Goiás. *RAMA* 14: 1-20.

CERQUEIRA MRF, PINTO MF, DEROSI IN, ESTEVES WT, SANTOS MDR, MATOS MAC, LOWINSOHN D & MATOS RC. 2014. Chemical characteristics of rainwater at a southeastern site of Brazil. *Atmos. Pollut. Res.* 5: 253-261.

CETESB. 2012. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Cobre.

CHAKRABORTY A, GUPTA T & TRIPATHI SN. 2016. Chemical composition and characteristics of ambient aerosols and Rainwater residues during Indian summer monsoon: insight from aerosol mass spectrometry. *Atmos. Environ.* 136: 144-155.

COELHO CH, ALLEN AG, FORNARO A, ORLANDO EA, GRIGOLETTO TLB & CAMPOS MLAM. 2011. Wet deposition of major ions in a rural área impacted by biomass burning emissions. *Atmos. Environ.* 45: 5260-5265.

CONCEIÇÃO FT, SARDINHA DS, NAVARRO GRB, ANTUNES MLP & ANGELUCCI VA. 2011. Composição Química das Águas Pluviais e Deposição Atmosférica Anual na Bacia do Alto Sorocaba (SP). *Quim. Nova* 34: 610-616.

CONCEIÇÃO FT, LITHOLDO T, SARDINHA DS, MORUZZI RB, NAVARRO GRB & GODOY LH. 2016. The Influence of Phosphate Mining on the Chemical Composition of Annual Atmospheric Deposition in Catalão (GO) and Tapira (MG), Brazil. *Water Air Soil Pollu.* 227: 3.

CAPITANI EM, PAOLIELLO MMB & ALMEIDA GRC. 2009. Fontes de exposição humana ao chumbo no Brasil. In: *Simpósio: Chumbo e a Saúde Humana—Capítulo VI. Medicina (Ribeirão Preto)* 42(3): 247–254.

- DONG L, DONG H, FUJITA T, GENG Y & FUJII M. 2015. Cost-effectiveness analysis of China's Sulfur dioxide control strategy at the regional level: regional disparity, inequity and future challenges. *J. Cleaner Prod.* 90: 345-359.
- EFRON B & TIBSHIRANI RJ. 1993. *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall, New York. p. 443.
- FONTENELE APG, PEDROTTI JJ & FORNARO A. Avaliação de metais traços e íons majoritários em águas de chuva na cidade de São Paulo. 2009. *Quim. Nova* 32: 839-844.
- FOROUZANFAR MG, AFSHIN A, ALEXANDER LT, ANDERSON HR, BHUTTA ZA, BIRYUKO S & CHARLSON FJ. 2016. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet* 388: 1659-1724.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. 2014. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Brasília, Funasa.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. 2013. *Manual prático de análise de água*. 4<sup>a</sup> ed. Brasília Funasa.
- GAO B, OUYANG W, CHENG HG, XU Y, LIN CY & CHEN J. 2019. Interactions between rainfall and fine particulate matter investigated by simultaneous chemical composition measurements in downtown Beijing. *Atmos. Environ.* 218.
- GARDNER MJ & ALTMAN DG. 1986. Confidence intervals rather than P values: estimation rather than hypothesis testing. *Br. Med. J.* 292: 746-750.
- GONÇALVES TLF. 2010. Modelagem dos processos de remoção sulfato e dióxido de enxofre presente no particulado em diferentes localidades da região metropolitana de São Paulo. *Rev. Bras. Geof.* 28: 109-19.
- Guerra TA. 2008. *Cobre: deficiência e intoxicação*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HONÓRIO BAD, HORBE AMC & SEYLER P. 2010. Chemical composition of rainwater in western Amazonia — Brazil. *Atmos. Res.* 98: 416-425.

INCZEDY J, LENGYEL T & URE AM. 1998. Compêndio de Nomenclatura Analítica The Orange Book - 3ª Edição. Blackwell Science.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. 2014. 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Disponível em: <[http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico\\_Qualidade\\_do\\_Ar\\_Versao\\_Final\\_Std.pdf](http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico_Qualidade_do_Ar_Versao_Final_Std.pdf)> Acesso em: 02 nov. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/>

KAYA G & TUNCEL G. 1997. Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey. *Atmos. Environ.* 31: 3985–3998

KOTOWSKI T, MOTYKA J, KNAP W & BIELEWSKI J. 2020. 17-Year study on the chemical composition of rain, snow and sleet in very dusty air (Krakow, Poland). *J Hydrol.* 582: 124 -543.

LARA, LBS, ARTAXO P, MARTINELLI LA, VICTORIA RL, CAMARGO PB, KRUSCHE A, AYERS GP, FERRAZ ESB & BALLESTER MV. 2001. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba river basin, southeast Brazil, *Atmos. Environ.* 35: 4937– 4945.

LEMES ES, DE OLIVEIRA S, DAS NEVES EH, RITTER R, DE MENDONÇA AO & MENEGHELLO GE. 2018. Crescimento inicial e acúmulo de sódio em plantas de arroz submetidas à salinidade. *RCA AJAES* 61.

LOPES SOBRINHO OP, DOS SANTOS LNS, SANTOS GO, CUNHA FN, SOARES FAL & TEIXEIRA MB. 2020. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. *RBClima* 27.

MAGALHÃES LC, NALINI JUNIOR HA, LIMA AC, COUTRIM MX. 2010. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. *Quim. Nova* 33: 519-523.

MARTINS EH, NOGAROTTO DC, MORTATTI J, POZZA SA. 2019. Chemical composition of rainwater in an urban area of the southeast of Brazil. *Atmos. Pollu. Res.* 10: 520-530.

MASIERO E & SOUZA LCL. 2013. Variação de Umidade Absoluta e Temperatura do Ar Intraurbano nos Arredores de Um Corpo D'água. *Ambient. Constr.* 13: 25-39.

MELLO WZ. 2001. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environ. Pollut.* 114: 235-242.

MIGLIAVACCA DM, TEIXEIRA EC, GERVASONI F, CONCEIÇÃO RV & RODRIGUEZ MTR. 2012. Metallic elements and isotope of Pb in wet precipitation in urban area, South America. *Atmos. Res.* 107: 106-114.

MIGLIAVACCA D, TEIXEIRA EC, WIEGAND F, MACHADO ACM & SANCHEZ J. 2005. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. *Atmos. Environ.* 39: 1829-1844.

MIMURA AMS, ALMEIDA JM, VAZ FAS, DE OLIVEIRA MAL, FERREIRA CCM, RAO W, HAN G, TAN H, JIN K, WANG S & CHEN T. 2017. Chemical and St Isotopic characteristics of Rainwater on the Alxa Desert Plateau, North China: implication for air quality and ion sources. *Atmos. Res.* 193: 163-172.

MIMURA AMS, ALMEIDA JM, VAZ FAS, DE OLIVEIRA MAL, FERREIRA CCM & SILVA JCJ. 2016. Chemical composition monitoring of tropical rainwater during an atypical dry year. *Atmos. Res* 169: 391-399.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas. 2013. Portaria SAS/MS no 1.324.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria N° 2.914 de 12 de Dezembro de 2011. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html) . Acesso em: 20 de maio de 2021.

NADZIR MSM, LIN CY, KHAN MF, LATIF MT & DOMINICK D. 2017. Characterization of rainwater chemical composition after a Southeast Asia haze event: insight of transboundary pollutant transport during the northeast monsoon. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24:15278–15290.

NIU H, HE Y, LU XX, SHEN J, DU J, ZHANG T, PU T, XIN H & CHANG L. 2014. Chemical composition of Rainwater in the Yulong snow mountain region wouthwestern China. *Atmos. Environ.* 144: 195-206.

OLIVEIRA LAM. 2012. Potássio. In: Lima TM (Coord.) Sumário Mineral. Brasília, DNPM/SE. p. 99-100.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). 1999. Air quality guidelines: Environmental health information.

PELICHIO AF, MARTINS LD, NOMI SN & SOLCI MC. 2006. Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil (1998–2002). *Atmos. Environ.* 40: 6827-6835.

PERLMUTT LD & CROMAR KR. 2019. Comparing associations of respiratory risk for the EPA Air Quality Index and health-based air quality indices. *Atmos. Environ.* 202: 1-7.

PRADO RDM, BRAGHIROLI LF, NATALE W, CORRÊA MCDM & ALMEIDA E VD. 2004. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Rev Bras Frutic.* 26: 295-299.

QUEVEDO CMG & PAGANINI WS. 2017. Uso de fosfato nos detergentes em pó comerciais no Brasil: aspectos ambientais e de saúde pública. ABES, São Paulo.

RAJEEV P, RAIPUT P & GUPTA T. 2016. Chemical characteristics of aerosol and Rainwater during an El Niño and PDO influenced Indian summer monsoon. *Atmos. Environ.* 145: 192-200.

RODRIGUES AA, VASCONCELOS-FILHO SC, RODRIGUES CL, RODRIGUES DA, SILVA GP, SALES JF, NASCIMENTO KJT, TELES, E.M.G., REHN, L.S. 2017. Aluminum influence on *Hancornia speciosa* seedling emergence, nutriente accumulation, growth and root anatomy. *Flora* 236: 9–14.

RODRIGUES AA, VASCONCELOS FILHO SC, MÜLLER C, RODRIGUES DA, MENDES GC, REHN LS, SALES JF. 2018b. *Sapindus saponaria* bioindicator potential concerning potassium fluoride exposure by simulated rainfall: Anatomical and physiological traits. *Ecol. Ind.* 89: 552-558.

RODRIGUES DA, VASCONCELOS SC, RODRIGUES AA, MULLER C, FARNESE FS, COSTA AC & TELES EMG, RODRIGUES CL. 2018a. *Byrsonima basiloba* as a bioindicator of simulated air pollutants: Morphoanatomical and physiological changes in response to potassium fluoride. *Ecol. Ind.* 89: 301-308.

SARRO VM. 2016. Os mecanismos da governança global para a proteção da camada de ozônio. Universidade Católica de Santos. Mestrado em Direito.

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 14 nov. 2020.

Silva ARD. 2019. Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: estudo de caso nas Bacias Hidrográficas Costeiras dos Rios Ratonos, Itacorubi e Tavares. [Tese de Doutorado em Geografia]. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. p. 309.

SILVEIRA CS, SOUZA FILHO FA, MARTINS ESPR, OLIVEIRA JL, COSTA AC, NOBREGA MT, SOUZA SA & SILVA RFV. 2016. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. ABRHidro. vol.21.

SLOVIC AD & RIBEIRO H. 2018. Policy instruments surrounding urban air quality: the cases of São Paulo, New York city and Paris. Environ. Sci. Pol. 81: 1-9.

SOLOMON S, QIN D, MANNING M, CHEN Z, MARQUIS M, AVERYT K B, TIGNOR M & MILLER HL. 2007. Intergovernmental Panel on climate change. Climate Change. The Physical Science Basis, Cambridge University Press, New York.

SONG C, HE J, WU L, JIN T, CHEN X, LI R & MAO H. 2017. Health burden attributable to ambient PM<sub>2.5</sub> in China Environ. Pollut. 223: 575-586.

SOUZA PA, MELLO WZ, MALDONADO J & EVANGELISTA H. 2006. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. Quim. Nova 29: 471–476.

TOMASELLA J, RODRIGUEZ DA, CUARTAS LA, FERREIRA M, FERREIRA JC, FERREIRA JC & MARENGO J. 2009. Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins. CCST/INPE, Cachoeira Paulista.

VIEIRA-FILHO MS, LEHMANN C & FORNARO A. 2015. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. Atmos. Environ. 101: 200-208.

VIEIRA-FILHO MS, PEDROTTI JJ & FORNARO A. 2013. Contribution of long and mid-range transport on the sodium and potassium concentrations in rainwater samples, São Paulo megacity, Brazil. *Atmos. Environ.* 79: 299-307.

ZHANG M, WANG S, WU F, YUAN X & ZHANG Y. 2007. Chemical compositions of wet precipitation and anthropogenic influences at a developing urban site in southeastern China. *Atmos. Res.* 84: 311–322.

ZHANG NN, HE YQ & CAO JJ. 2012a. Long-term trends in chemical composition of precipitation at Lijiang, southeast Tibetan Plateau, southwestern China. *Atmos. Res.* 106: 50-60.

ZHANG X, JIANG H, ZHANG Q & ZHANG X. 2012b. Chemical characteristics of rainwater in northeast China, a case study of Dalian. *Atmos. Res.* 116: 151-160.

ZHANG Y, WANG S, FAN X, XIN J & CHENG YA. 2019. temperature indicator for heavy air pollution risks (TIP). *Sci Total Environ.* 678: 712-720.

ZHOU F, NIU M, ZHENG Y, SUN Y, WU Y, ZHU T & SHEN F. 2021. Impact of outdoor air on indoor airborne microbiome under hazy air pollution: A case study in winter Beijing. *J Aerosol Sci.* n 156.

ZHU Z, LIU C-Q, WANG Z-L & JUN LI XL. 2016. Rare earth elements concentrations and speciation in rainwater from Guiyang, an acid rain impacted zone of Southwest China. *Chem. Geol.* 442: 23-34.