



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
APLICADAS**

**INDICADORES GEOQUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM  
GOIÂNIA, GOIÁS.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

**TESE DE DOUTORADO Nº 034**

**TIAGO GODOI RIBEIRO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. GERALDO RESENDE BOAVENTURA  
COORIENTADOR: PROF. DR. LUCIANO SOARES DA CUNHA**

**BRASÍLIA-DF  
AGOSTO, 2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
APLICADAS**

**TIAGO GODOI RIBEIRO**

**INDICADORES GEOQUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM  
GOIÂNIA, GOIÁS.**

TESE DE DOUTORADO Nº 034

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geociências Aplicadas.

**ORIENTADOR: PROF. DR. GERALDO RESENDE BOAVENTURA  
COORIENTADOR: PROF. DR. LUCIANO SOARES DA CUNHA**

Data da defesa: 18 de agosto de 2017

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Geraldo Resende Boaventura - Orientador (UnB-IG)

Prof. Dr. Jérémie Garnier (UnB-IG)

Prof. Dr. Detlef Hans Gert Walde (UnB-IG)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Valéria de Lima (UFG-IESA)

BRASÍLIA-DF  
AGOSTO, 2017

## DEDICATÓRIA

Agradeço a Deus, pelo dom da vida!  
Obrigado por tudo o que tem feito  
e tudo o que ainda vai fazer.  
*“Não o adoro pelo que faz  
O adoro pelo que é  
Haja o que houver, sempre será Deus  
Dele vêm o sim e o amém  
Somente dele e mais ninguém  
A Deus seja o louvor!  
Delino Marçal”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, nosso Senhor Jesus, pelo perdão dos pecados, pelas graças concedidas, pela oportunidade da vida e do aprendizado constante, pois sem Ele essa jornada não seria cumprida.

A Universidade de Brasília – UnB e Instituto de Geociências - IG, através do Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, pela oportunidade e estudos proporcionados, aos professores pela dedicação, empenho e profissionalismo apresentados na condução das disciplinas do programa.

Ao professor, amigo e orientador Dr. Geraldo Resende Boaventura, pelos ensinamentos, pela paciência, pelo incentivo, pela disponibilidade e apoio que sempre demonstrou, agradeço por todos os momentos em que compartilhamos experiências profissionais e de vida. Aqui manifesto a minha gratidão.

Ao professor, coorientador Dr. Luciano Soares Cunha, pela sua disponibilidade, pelo seu incentivo, pela sua disponibilidade e igualmente pelo seu apoio na elaboração deste trabalho.

Aos professores Dr. Jeremie Garnier e Dr. José Eloi Guimarães Campos, pela avaliação e crítica ao estudo. Aos professores Dr<sup>a</sup>. Cláudia Valéria de Lima e Dr. Detlef Hans Gert Walde pela disposição em avaliar este trabalho.

Ao Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília, pela utilização das instalações do laboratório e dedicação de seus técnicos Myller de Sousa e Fernando Cavalcante, que não mediram esforços para auxiliar nos procedimentos laboratoriais e suporte durante as análises das amostras.

As diversas instituições que auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço a CAPES, CNPq e Prefeitura de Goiânia pelo financiamento deste trabalho. Ao Instituto Federal de Goiás, pela concessão da licença, por meio do programa de incentivo a qualificação, proporcionando tempo para me dedicar aos estudos.

Aos amigos, Prof. Dr. Sandro Morais Pimenta e Prof. Jean Carlo de Souza Silva, pela amizade, dedicação, auxílio em campo e contribuições de forma direta e indireta no desenvolvimento da tese. Eudes Bomfim, Daniel Ferreira Araújo, Normara Costa, Enoc Lima, Jéssica de Sá e a todos os amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos difíceis.

De modo especial, aos meus avós, Geraldo e Juvercina, que foram a base da minha educação e princípios, aos meus pais, Joaquim e Geralda a gratidão pela por toda a dedicação que está diretamente ligada ao meu crescimento pessoal e profissional. Aos meus cunhados Silmara e Rildo agradeço a ajuda e prontidão nos momentos difíceis. Delfino e Célia, que me receberam de coração e braços abertos, obrigado por todo cuidado e zelo. Tiago e Thaynara, pelos momentos descontraídos que passamos juntos, pelas hospedagens e apoio. À Solange, Alice e Davi, pela oportunidade de constituir uma família, obrigado pela paciência, companheirismo, incentivo e dedicação sempre. A todos vocês todo a minha gratidão, meu amor e carinho.

Por fim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização desta tese.

## EPÍGRAFE

*“Cuidar do meio ambiente é, para mim, um compromisso de vida, um ministério. Não um ministério no sentido eclesiástico ou teológico, mas um ministério que tem suas raízes no cristianismo”.*

***Marina Silva***

## RESUMO

Atualmente, o planejamento do uso da terra tem ignorado as questões ambientais. A interferência do homem no meio natural agrava os problemas relacionados ao meio ambiente, seja em áreas urbanas ou não. Por este motivo é necessário o conhecimento dos recursos naturais para um planejamento racional do uso do solo, prevendo sua manutenção. Fatores como ocupação desordenada, assoreamento das margens de corpos d'água, lançamento de efluentes *in-natura* e deposição de resíduos sólidos em áreas inadequadas são problemas que devem ser discutidos, e amparados por pesquisas de cunho científico que deem o suporte necessário para ações por parte do governo, de forma a beneficiar o coletivo. A avaliação da qualidade do ambiente pode ser realizada com a análise de indicadores geoquímicos que apresentem as características permitindo os pesquisadores realizar a classificação de uma determinada área. No modelo proposto neste estudo, a qualidade ambiental foi avaliada na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, localizado no município de Goiânia-GO, a partir da seleção de indicadores de qualidade da água, do ar e do solo. A determinação da qualidade ambiental foi efetuada a partir da integração de indicadores geoquímicos, classificados em índices de qualidade da água, do ar e do solo. Os índices foram classificados em uma escala de 0 a 1 (0, baixa qualidade e 1, boa qualidade). O IQA apresentou um escore de 0,43, já o escore do IQAr foi de 0,79 e o IQS apresentou valor de 0,75. Os índices foram integrados de acordo com o modelo proposto para que a qualidade ambiental total fosse finalmente determinada. Para facilitar o entendimento do resultado encontrado, o IQAmb foi aplicado em uma escala da qualidade ambiental. O IQAmb da bacia do Ribeirão Anicuns foi considerado de qualidade boa, com um escore de 0,63. Conclui-se que bacia do Ribeirão Anicuns passou por um intenso processo de urbanização nos últimos anos, levando a degradação da qualidade ambiental local. O modelo proposto pode ser aplicado por qualquer municipalidade com as mesmas características de ocupação urbana.

**Palavras-chave:** Indicadores Geoquímicos; Qualidade Ambiental; Qualidade da Água; Qualidade do Ar; Qualidade do Solo.

## ABSTRACT

Currently, land use planning has ignored environmental issues. The interference of man in the natural environment aggravates problems related to the environment, whether in urban areas or not. For this reason it is necessary the knowledge of the natural resources for a rational planning of the use of the ground, predicting its maintenance. Factors such as disorderly occupation, silting up water bodies, launching in-natura effluents and depositing solid wastes in inadequate areas are issues that should be discussed and supported by scientific research that provides the necessary support for actions by part of the government, in order to benefit the collective. The evaluation of the quality of the environment can be carried out with the analysis of geochemical indicators that present the characteristics allowing the researchers to carry out the classification of a certain area. In the model proposed in this study, the environmental quality was evaluated in the Ribeirão Anicuns basin, located in the city of Goiânia-GO, from the selection of indicators of water, air and soil quality. The determination of the environmental quality was made based on the integration of geochemical indicators, classified in indexes of water, air and soil quality. The indices were rated on a scale of 0 to 1 (0, low quality and 1, good quality). The IQA had a score of 0.43, the IQAr score was 0.79 and the IQS score was 0.75. The indices were integrated according to the proposed model so that the total environmental quality was finally determined. To facilitate the understanding of the results found, the IQAmb was applied on an environmental quality scale. The IQAmb of the Ribeirão Anicuns basin was considered of good quality, with a score of 0.63. It is concluded that the Ribeirão Anicuns basin has undergone an intense urbanization process in recent years, leading to the degradation of local environmental quality. The proposed model can be applied by any municipality with the same characteristics of urban occupation.

**Keywords:** Geochemical Indicators; Environmental Quality; Water quality; Air quality; Soil Quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo "Pressão-Estado Resposta".....	25
Figura 2 - Localização da Bacia do Ribeirão Anicuns. ....	38
Figura 3 - Cobertura e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Anicuns.....	40
Figura 4 - Gráfico chuva acumulada mensal x chuva (Normal Climatológica 1961 -1990), Estação Goiânia, ano 2014. ....	42
Figura 5 - Geologia do município de Goiânia. ....	44
Figura 6 - Pedologia da Bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO.....	46
Figura 7 - Localização dos Pontos de Coleta de Água. ....	50
Figura 8 - Ponto de Coleta de água PRA01, junção das nascentes do Ribeirão Anicuns. ....	51
Figura 9 - Lançamento de esgoto em galeria de água pluvial, que desagua no ponto de coleta de água PRA02, Ribeirão Anicuns.....	52
Figura 10 - Ponto de coleta de água PRA03.....	52
Figura 11 - Ausência de vegetação ciliar nas margens do Ribeirão Anicuns, ponto de coleta PRA04. ....	53
Figura 12 - Ponto de coleta de água PRA05.....	53
Figura 13 - Ponto de coleta de água PRA06.....	54
Figura 14 - Ponto de coleta de água PRA07, foz do Ribeirão João Leite. ....	54
Figura 15 - Ponto de coleta de água PNB08, nascente do Córrego Botafogo.....	55
Figura 16 - Ponto de coleta de água PNC09, nascente do Córrego Cascavel. ....	55
Figura 17 - Ponto de coleta de água PNM10, nascente do Córrego Macambira.....	56
Figura 18 - Ponto de coleta de água PCC11, encontro das nascentes do Córrego Capão Comprido. Ausência de vegetação ciliar nativa, nas margens do Córrego Capão Comprido..	56
Figura 19 - Ponto de coleta de água PNS12, nascente do Córrego Salinas.....	57
Figura 20 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar. ....	59
Figura 21 - Localização dos Pontos de Coleta de Ar - PTS. ....	60
Figura 22 – Pontos de amostragem de Solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.....	62
Figura 23 - Escala da Qualidade Ambiental.....	66
Figura 24 - Cobertura e Uso do Solo no Ribeirão Anicuns, Goiânia - GO. ....	69
Figura 25 - Disposição espacial dos pontos de coleta de água.....	71
Figura 26 - Precipitação Acumulada (mm). Normais climatológicas (1931-1960 / 1961-1990). .....	84
Figura 27 – Umidade Relativa (%). Normais climatológicas (1931-1960 / 1961-1990). ....	84
Figura 28 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar. ....	85

Figura 29 - Temperatura Mínima e Máxima Diária. ....	89
Figura 30 - Variação da Pressão Atmosférica. ....	90
Figura 31 - Umidade Relativa do Ar - Média Mensal. ....	91
Figura 32 - Concentração máxima mensal de PTS para os pontos de amostragem. ....	92
Figura 33 - Concentração máxima mensal das partículas inaláveis. ....	94
Figura 34 - Concentrações Máximas de O <sub>3</sub> nos pontos de Amostragem. ....	96
Figura 35 - Concentrações Máximas de O <sub>3</sub> nos pontos de amostragem. ....	96
Figura 36 - Índice de Qualidade do Ar - IQAr ....	99
Figura 37 - Pedologia da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.....	107
Figura 38 - Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás. ....	125
Figura 39 - Escala da Qualidade Ambiental. ....	131
Figura 40 – Índice de Qualidade do Ar, na bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.....	136
Figura 41 – Aplicação do IQAmb na escala da qualidade ambiental.....	140

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos estudos selecionados .....	26
Quadro 2 - Localização dos Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar.....	59
Quadro 3 – Dados Técnicos de Funcionamento do POD fabricado pela AQMesh. ....	60
Quadro 4 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Implicações Gerais à Saúde da População .....	61
Quadro 5 - Pontos de Amostragem de Solo, Bacia do Ribeirão Anicuns. ....	63
Quadro 6 - Classificação dos Indicadores de Qualidade do Solo.....	64
Quadro 7 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar.....	85
Quadro 8 - Dados Técnicos de Funcionamento do POD fabricado pela AQMesh. ....	87
Quadro 9 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Implicações Gerais à Saúde da População .....	88
Quadro 10 - Pontos de Amostragem de Solo, Bacia do Ribeirão Anicuns. ....	107
Quadro 11 - Classificação dos Indicadores de Qualidade do Solo.....	110
Quadro 12 – Diagrama Lógico da Relação das Evidências.....	128
Quadro 13 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde da População. ....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cobertura e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Anicuns (2015). .....	39
Tabela 2 - Pontos de coleta de água amostrados em 2015. ....	49
Tabela 3 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr. Adaptado: EPA (2014). ....	61
Tabela 4 - Pontos de coleta de água amostrados no primeiro semestre de 2015.....	70
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos períodos chuva/seca, Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO. .....	73
Tabela 6 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período chuvoso.....	76
Tabela 7 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período estiagem.....	77
Tabela 8 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr. ....	87
Tabela 9 - Concentrações Máximas de PTS nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem 24horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990. ....	92
Tabela 10 - Concentrações Máximas de partículas inaláveis nos pontos GO 01 e GO 02. ....	94
Tabela 11 - Concentrações Máximas de O <sub>3</sub> nos pontos GO 01 e GO 02. ....	95
Tabela 12 - Concentrações Máximas de CO nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 08 horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990. ....	97
Tabela 13 - Concentrações Máximas de NO <sub>2</sub> nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 01hora, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.....	97
Tabela 14 - Concentrações Máximas de SO <sub>2</sub> nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 24horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990. ....	98
Tabela 15 - Classificação textural das amostras.....	111
Tabela 16 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Amarelo. ....	112
Tabela 17 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Escuro. ....	113
Tabela 18 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Argissolo Vermelho + Cambissolo e Gleissolo.....	114
Tabela 19 - Índice de Qualidade do Solo - Modelo de ISLAN & WEIL (2000). ....	115
Tabela 20 - Índice de Qualidade do Solo (IQS <sub>2</sub> ). ....	116
Tabela 21 - Erro de Desvio na aplicação dos modelos IQS <sub>1</sub> e IQS <sub>2</sub> .....	117
Tabela 22 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr (EPA, 2014). ....	129

Tabela 23 - Parâmetros físico-químicos períodos chuva/seca, Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO (RIBEIRO et. al., 2016).....	132
Tabela 24 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período chuvoso (RIBEIRO et al., 2016). ....	133
Tabela 25 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período estiagem (RIBEIRO et al., 2016). ....	133
Tabela 26 – Aplicação do IQA. Adaptado de Pimenta (2016).....	134
Tabela 27 – Concentração dos Poluentes Atmosféricos, Bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.....	135
Tabela 28 – Média geral das concentrações nos pontos amostrados e aplicação do IQAr. ...	136
Tabela 29 - Classificação textural das amostras.....	137
Tabela 30 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Amarelo. ....	138
Tabela 31 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Escuro. ....	138
Tabela 32 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Argissolo Vermelho + Cambissolo e Gleissolo.....	139
Tabela 33 - Índice de Qualidade do Solo (IQS). ....	139
Tabela 34 – Índice de Qualidade Ambiental (IQAmb), Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás. ....	140

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. OBJETIVO.....	18
1.2. ESTRUTURA DA TESE .....	18
<b>CAPÍTULO 2 – QUALIDADE AMBIENTAL: REFLEXÕES TEÓRICAS .....</b>	<b>21</b>
2.1. INTRODUÇÃO.....	22
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
2.3.1. Conceito de qualidade ambiental .....	23
2.3.2. Indicadores de Qualidade Ambiental .....	25
2.3.3. Qualidade ambiental: Abordagens práticas.....	26
2.4. CONCLUSÃO.....	33
2.5. REFERÊNCIAS .....	34
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.1.1. Caracterização da Área de Estudo: Goiânia – Bacia Do Ribeirão Anicuns.....	37
3.1.2. Classificação de Uso do Solo .....	39
3.1.3. Cobertura e Uso do Solo .....	39
3.1.4. Clima de Goiânia.....	41
3.1.5. Contexto Geológico de Goiânia – Bacia do Anicuns.....	42
3.1.6. Contexto Pedológico de Goiânia – Bacia do Anicuns .....	45
3.1.7. Contexto Geomorfológico de Goiânia – Bacia do Anicuns.....	47
3.2. COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA .....	48
3.3. PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE .....	57
3.3.1. Determinação dos Parâmetros Físico-Químicos .....	58
3.3.2. Determinação dos Ânions .....	58
3.4. AMOSTRAGEM DE AR.....	59
3.4.1. Método de Medição.....	60
3.4.2. Determinação da Qualidade do Ar da bacia do Ribeirão Anicuns.....	61
3.5. AMOSTRAGEM DE SOLO .....	62
3.5.1. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem.....	62

3.5.2. Determinações em Laboratório de Solos .....	63
3.5.3. Escolha dos Indicadores de Qualidade do Solo .....	63
3.5.4. Índice de Qualidade do Solo (IQS) .....	64
3.6. MODELO DE INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE (IQAmb) .....	65
<b>CAPÍTULO 4 – ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS POR MEIO DA CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS .....</b>	<b>67</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	68
4.2. ÁREA DE ESTUDO .....	69
4.3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	70
4.3.1. Coleta e Identificação dos Pontos .....	70
4.3.2. Determinações em Campo e Laboratório .....	72
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
4.4.1. Resultados das Determinações Físico-químicas .....	73
4.4.2. Correlações .....	76
4.5. CONCLUSÕES .....	78
4.6. AGRADECIMENTOS .....	78
4.7. REFERÊNCIAS .....	78
<b>CAPÍTULO 5 – DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COMO INDICADOR GEOQUÍMICO, NA BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM GOIÂNIA, GOIÁS .....</b>	<b>81</b>
5.1. INTRODUÇÃO .....	82
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	83
5.2.1. Caracterização da Área de Estudo .....	83
5.2.2. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem .....	85
5.2.3. Método de Medição .....	86
5.2.4. Determinação da Qualidade do Ar na Bacia do Ribeirão Anicuns .....	87
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	88
5.3.1. Meteorologia .....	89
5.3.2. Poluentes Atmosféricos .....	91
5.3.3. Índice de Qualidade do Ar - IQAr .....	98
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	100
5.5. AGRADECIMENTOS .....	101

5.6. REFERÊNCIAS .....	101
<b>CAPÍTULO 6 – ÍNDICE QUALIDADE DO SOLO POR MEIO DE PARÂMETROS FÍSICOS E ORGÂNICOS .....</b>	<b>104</b>
6.1. INTRODUÇÃO.....	105
6.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	106
6.2.1. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem.....	106
6.2.2. Caracterização da Área de Estudo.....	108
6.2.3. Determinações em Laboratório .....	109
6.2.4. Escolha dos Indicadores de Qualidade do Solo .....	109
6.2.5. Índice de Qualidade do Solo (IQS) .....	110
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	111
6.3.1. Índice de Qualidade do Solo (IQS) .....	114
6.4. CONCLUSÕES .....	118
6.5. AGRADECIMENTOS .....	119
6.6. REFERÊNCIAS .....	119
<b>CAPÍTULO 7 – INDICADORES GEOQUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM GOIÂNIA, GOIÁS .....</b>	<b>122</b>
7.1. INTRODUÇÃO.....	123
7.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	124
7.2.1. Caracterização da Área de Estudo.....	124
7.2.2. Coleta e Pontos de Amostragem .....	126
7.2.3. Determinações em Campo e Laboratório.....	126
7.2.4. Índices de Qualidade .....	128
7.2.5. Modelo de Integração dos Índices de Qualidade (IQAmb).....	130
7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	131
7.3.1. Índice de Qualidade da Água (IQA) .....	131
7.3.2. Índice de Qualidade do Ar (IQAr) .....	134
7.3.3. Índice de Qualidade do Solo (IQS) .....	137
7.3.4. Índice de Qualidade Ambiental (IQAmb).....	140
7.4. CONCLUSÕES .....	141
7.5. AGRADECIMENTOS .....	142

7.6. REFERÊNCIAS .....	142
<b>CAPÍTULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>146</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>149</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

---

A questão ambiental vem sendo muito discutida em todo o mundo nas últimas décadas. Nesse período, houve um grande crescimento populacional global e, além disso, devido ao êxodo rural, a concentração de pessoas na zona urbana aumentou sensivelmente. Esse processo de adensamento vem ocorrendo em todo o mundo, ocasionando maior desgaste dos recursos naturais. Tal concentração urbana, ligada ao crescimento desordenado e acelerado, tem provocado uma série de mudanças no ambiente. (Guerra e Cunha, 2011).

Diante dessa realidade, o homem começou a entender que a natureza não é infinita ou ilimitada, que pensar e colocar em prática novo modo de desenvolvimento e novas formas de uso e ocupação do solo permitirá alcançar melhor qualidade de vida em um meio equilibrado. É necessário, portanto, que os gestores planejem as cidades considerando os aspectos ambientais que compõem as regiões, seus componentes físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos. Desta maneira, para garantir a conservação ambiental e um ambiente equilibrado e de boa qualidade, o modelo de desenvolvimento das cidades deve partir da análise da qualidade ambiental local como forma de subsidiar a formulação e o desenvolvimento de políticas públicas adequadas à capacidade de uso dos recursos naturais.

Considerando a necessidade de avaliação da qualidade ambiental, a definição de indicadores ao longo das duas últimas décadas tem se destacando como importante ferramenta para planejamento e avaliação de políticas públicas, buscando o fortalecimento das decisões e facilitando a participação da sociedade. (CEPAL, 2007)

Embora a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento Ambiental (OECD) se destaque como norteadora no processo de desenvolvimentos metodológicos e de implementação de indicadores para avaliação ambiental, é importante ressaltar que a definição de critérios de utilização e escolha de indicadores ainda se encontra em processo de desenvolvimento no mundo, com consideráveis assimetrias. (CEPAL, 2007)

Fidalgo (2003) sugere um refinamento e acompanhamento periódico no uso de indicadores para avaliação da qualidade ambiental, por falta de um método único, universal e específico para defini-los.

Diversas são as dificuldades no uso de indicadores, tais como a grande heterogeneidade existente entre os diversos locais em relação a alguns elementos essenciais específicos, tais como espaço geográfico. Nesse sentido, Weins e Silva (2007) ressaltam a necessidade de um método de definição de indicadores que permita validar a sua sustentação teórica.

Um dos principais desafios para o desenvolvimento de indicadores consiste na complexidade de seu delineamento. Os indicadores de avaliação da qualidade ambiental existentes apresentam baixa sinergia entre as dimensões econômica, social, ambiental e institucional, além de haver dificuldade em gerar parâmetros com significado agregado. Por isso, existe ainda um número reduzido de indicadores vinculados entre si (CEPAL, 2007).

Essas considerações estimulam o foco deste trabalho, que visa desenvolver um modelo de avaliação da qualidade ambiental baseado em indicadores geoquímicos para cidades que sofrem com problemas ambientais e que possuem características semelhantes relacionadas ao processo de urbanização desordenado. Destaca-se que 90% dos municípios brasileiros sofrem algum tipo de problema ambiental (IBGE, 2008).

Nesta pesquisa o modelo será elaborado e aplicado no município de Goiânia, mais especificamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, localizado na região sul e sudoeste da capital. A região se enquadra nas características apresentadas, boa parte dos bairros localizados nessa bacia apresentaram um processo de ocupação desordenado.

Espera-se que o modelo a ser desenvolvido possa ser aplicado em diversas cidades, já que o processo de ocupação urbana no Brasil foi semelhante nas mais diversas regiões do país, o que gerou notáveis impactos ambientais em todo o território nacional.

## **1.1.OBJETIVO**

Criar um modelo de avaliação de qualidade ambiental para ambientes urbanos, utilizando indicadores geoquímicos.

Para atender o objetivo geral do estudo é fundamental o desenvolvimento dos elementos que contemplam o tema:

- Delimitar a drenagem, recorte espacial e seleção dos pontos de amostragem;
- Análise geoquímica do corpo hídrico selecionado;
- Análise geoquímica do solo e do ar no entorno do corpo hídrico selecionado;
- Modelo para correlacionar os diferentes métodos de avaliação da qualidade da ambiental.

## **1.2. ESTRUTURA DA TESE**

A tese é composta por oito capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, os objetivos do estudo e a estruturação do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada em forma de artigo publicado na revista Processos Químicos (ISSN 1981-8521) a revisão bibliográfica, dando em apresentar o tema qualidade

ambiental. A consulta de artigos científicos, dissertações e teses foi realizada no banco de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC, pela rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). Foram levantados 25 estudos sobre o tema qualidade ambiental. Ao analisar os diversos estudos, conclui-se que a qualidade ambiental urbana não está associada a indicadores precisos e definitivos, sendo o método Pressão-Estado-Resposta o mais usual para classificação de indicadores Ambiental.

A proposta metodológica é apresentada no terceiro capítulo, com informações acerca da delimitação e caracterização da área de estudo, a escolha dos indicadores geoquímicos e a montagem do modelo de avaliação da qualidade ambiental.

A partir do quarto capítulo os resultados da pesquisa são apresentados, todos em forma de artigo. O capítulo quatro apresenta, o resultado da avaliação da qualidade da água no Ribeirão Anicuns. O artigo intitulado “Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia do Ribeirão Anicuns”, foi publicado na revista *Geochimica Brasiliensis* (ISSN 2358-2812 - DOI 10.21715/GB2358-2812.2016301084). Para avaliação da qualidade foram realizadas duas campanhas de coleta no ano de 2015, nos períodos de chuva e estiagem, em 12 pontos de amostragem. Foram determinados os parâmetros temperatura, cor, turbidez, pH, totais de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade, amônia, sulfato, fosfato, nitrato, cloreto e fluoreto.

O quinto capítulo, intitulado “Determinação da qualidade do ar como indicador geoquímicos, na bacia do Ribeirão Anicuns em Goiânia, Goiás” foi submetido a Revista *Fronteiras* (ISSN 2238-8869). O estudo objetivou avaliar durante o segundo semestre de 2016 e início de 2017, os níveis de poluição do ar, através das concentrações de partículas em suspensão, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono, da cidade de Goiânia, mais precisamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Para isso foi utilizado um micro sensor, calibrado a partir de uma estação de referência do CETESB.

No capítulo seis, apresenta-se os resultados da avaliação da qualidade do solo. Os resultados foram submetidos a *Fronteiras* (ISSN 2238-8869), por meio do artigo “Índice de Qualidade do solo por meio de parâmetros físicos e orgânicos”. O objetivo foi avaliar a qualidade do solo na bacia do Ribeirão Anicuns, aplicando um modelo baseado no índice de deterioração do solo. Foram selecionados indicadores físicos e orgânicos para aplicação do IQS. Amostras em ecossistemas naturais, com mínima intervenção antrópica, foram coletadas e consideradas como *background*. Foi apresentado um novo modelo de cálculo do IQS, obtido a partir do produtório das diferenças entre os indicadores das áreas amostradas, em comparação com indicadores das áreas de *background*.

O capítulo sete apresenta o modelo de qualidade ambiental, objeto deste estudo. O artigo foi submetido à Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ISSN 1809-447). O modelo proposto neste estudo, teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, em Goiânia, capital do Estado de Goiás. A determinação da qualidade ambiental foi efetuada a partir da integração de indicadores geoquímicos, classificados em índices de qualidade da água, do ar e do solo. Os índices foram classificados em uma escala de 0 a 1 (0, baixa qualidade e 1, boa qualidade).

Finalmente, no capítulo oito são expostas as considerações finais do trabalho, a partir dos resultados apresentados nos capítulos anteriores. Logo após apresenta-se todas as referências utilizadas nesta pesquisa.

TIAGO GODOI RIBEIRO<sup>2</sup>  
GERALDO RESENDE BOAVENTURA<sup>3</sup>  
LUCIANO SOARES DA CUNHA<sup>4</sup>  
SANDRO MORAIS PIMENTA<sup>5</sup>

### RESUMO

O objetivo deste estudo é apresentar o tema qualidade ambiental, a partir da revisão bibliográfica da literatura especializada. A consulta de artigos científicos, dissertações e teses foi realizada no banco de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC, pela rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). Foram levantados 25 estudos sobre o tema qualidade ambiental. Ao analisar os diversos estudos, conclui-se que a qualidade ambiental urbana não está associada a indicadores precisos e definitivos, sendo o método Pressão-Estado-Resposta o mais usual para classificação de indicadores Ambientais. Recomenda-se definir um método mais preciso para avaliação da qualidade ambiental em áreas urbanas.

**Palavras-chave:** Qualidade ambiental; indicadores ambientais.

### ABSTRACT

*The objective of this study is to present the theme environmental quality, based on the bibliographic review of the specialized literature. The consultation of scientific articles, dissertations and theses was done in the database of the Portal of Periodicals CAPES / MEC, by the network of the Federated Academic Community (CAFe). A total of 25 studies were carried out on environmental quality. In analyzing the various studies, it's concluded that the urban environmental quality is not associated with precise and definitive indicators, and the Pressure-State-Response method is the most usual method for the classification of environmental indicators. It's recommended to define a more precise method for assessing environmental quality in urban areas.*

**Keywords:** Environmental quality; environmental indicators.

---

<sup>1</sup> Artigo publicado na Revista Processos Químicos. ISSN 1981-8521 “in press”

<sup>2</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Aparecida de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Doutorando pelo Instituto de Geociências - IG, da Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. [godoiribeiro@gmail.com](mailto:godoiribeiro@gmail.com).

<sup>3</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>4</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>5</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Goiânia, Goiânia, Goiás, Brasil.

## **2.1. INTRODUÇÃO**

A questão ambiental vem sendo muito discutida em todo o mundo nas últimas décadas. Nesse período, houve um grande crescimento populacional global e, além disso, devido ao êxodo rural, a concentração de pessoas na zona urbana aumentou sensivelmente. Esse processo de adensamento vem ocorrendo em todo o mundo, ocasionando maior desgaste dos recursos naturais. Tal concentração urbana, ligada ao crescimento desordenado e acelerado, tem provocado uma série de mudanças no ambiente. (Guerra e Cunha, 2011).

Diante dessa realidade, o homem começou a entender que a natureza não é infinita ou ilimitada, que pensar e colocar em prática novo modo de desenvolvimento e novas formas de uso e ocupação do solo permitirá alcançar melhor qualidade de vida em um meio equilibrado. É necessário, portanto, que os gestores planejem as cidades considerando os aspectos ambientais que compõem as regiões, seus componentes físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos. Desta maneira, para garantir a conservação ambiental e um ambiente equilibrado e de boa qualidade, o modelo de desenvolvimento das cidades deve partir da análise da qualidade ambiental local como forma de subsidiar a formulação e o desenvolvimento de políticas públicas adequadas à capacidade de uso dos recursos naturais.

Considerando a necessidade de avaliação da qualidade ambiental, a definição de indicadores ao longo das duas últimas décadas tem se destacando como importante ferramenta para planejamento e avaliação de políticas públicas, buscando o fortalecimento das decisões e facilitando a participação da sociedade. (CEPAL, 2007)

Embora a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento Ambiental (OECD) se destaque como norteadora no processo de desenvolvimentos metodológicos e de implementação de indicadores para avaliação ambiental, é importante ressaltar que a definição de critérios de utilização e escolha de indicadores ainda se encontra em processo de desenvolvimento no mundo, com consideráveis assimetrias. (CEPAL, 2007)

Um dos principais desafios para o desenvolvimento de indicadores consiste na complexidade de seu delineamento. Os indicadores de avaliação da qualidade ambiental existentes apresentam baixa sinergia entre as dimensões econômica, social, ambiental e institucional, além de haver dificuldade em gerar parâmetros com significado agregado. Por isso, existe ainda um número reduzido de indicadores vinculados entre si (CEPAL, 2007).

## **2.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O método utilizado no presente estudo foi a revisão integrativa da literatura, com a finalidade de reunir e resumir o conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado,

permitindo buscar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis para contribuir com o desenvolvimento do conhecimento na temática qualidade ambiental.

Para execução da revisão da literatura, as pesquisas foram realizadas por meio da rede da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), nas bases de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC. A pesquisa foi realizada entre agosto de 2013 e janeiro de 2017. As terminologias utilizadas na pesquisa foram qualidade ambiental, indicadores ambientais e índice de qualidade ambiental, bem como suas correspondentes em inglês, *environmental quality; environmental indicators; environmental quality index*.

Foram encontrados 2080 artigos relacionados ao tema, após a leitura dos títulos dos artigos, verificou-se que muitos não preenchiam os critérios deste estudo. Ao final foram selecionados 25 artigos para leitura do resumo e abstract e foram excluídos os que não diziam respeito ao propósito desta pesquisa, sendo a maior quantidade de exclusões referentes ao tema qualidade de vida e artigos de revisões literárias.

Após a seleção e leitura dos periódicos, prosseguiu-se com a análise e organização dos resultados por meio categorização dos temas, conceito de qualidade ambiental, indicadores ambientais e índice de qualidade ambiental.

## **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **2.3.1. Conceito de qualidade ambiental**

A qualidade ambiental pode ser definida como um reflexo das funções do ambiente físico para os seres humanos. Essas funções podem ser analisadas baseando-se na ideia de sustentabilidade, através da qual as características dos elementos físicos são avaliadas conforme a funcionalidade que possuem (BRIGUENTI, 2005). Conceitualmente, é considerada sob dois aspectos: o ecocêntrico ou biocêntrico, que está diretamente relacionado com o grau de preservação (quanto mais conservado o estado natural, maior é a sua qualidade), utilizando indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas e o antropocêntrico, que considera a qualidade do meio como reflexo das funções do ambiente para os seres humanos (SCOPE, 1995; BRAGA, 2002; MULHOLLAND, 2009; RIBEIRO, 2013).

A qualidade do ambiente é definida como um conjunto de fatores físicos, químicos, biológicos, que expressam as características ambientais de determinada região a partir de uma determinada escala geográfica, permitindo que os pesquisadores possam avaliar o estado do ambiente em determinadas localidades (VASILE et al, 2011).

A EEA (1997) considera que o termo “qualidade ambiental” é o estado das condições do ambiente, expressas por meio de indicadores ou índices relacionados aos padrões de

qualidade ambiental, contemplando diversas características, tais como: qualidade da água, do ar, acesso aos espaços abertos, os efeitos visuais das áreas construídas, e o efeito que tais características podem ter sobre a saúde física e mental dos indivíduos.

A Qualidade Ambiental, segundo Lima (2011), é o equilíbrio entre elementos da paisagem através de um ordenamento do espaço, conciliando principalmente os benefícios da vegetação com os diversos tipos de usos do solo através de um planejamento. Dias et al. (2011) acrescentam ao conceito supracitado que a questão ambiental ganha importância à medida que as cidades crescem e se apropriam demasiadamente dos recursos naturais. Esses locais passam a ter grande concentração de pessoas, e a consequência é o aumento da pressão sobre os sistemas naturais.

O conceito de qualidade ambiental é de difícil definição e está intimamente relacionado à qualidade de vida, pois deve existir uma interação e um equilíbrio entre o meio ambiente e as atividades humanas. Neste contexto, é importante ressaltar que o conceito de qualidade ambiental, muitas vezes é influenciado por posições filosóficas, ideológicas e políticas (MACHADO, 1997).

A definição de qualidade ambiental está carregada de todas as controvérsias inerentes à qualidade. Dessa forma, os pesquisadores, ao tratarem de qualidade ambiental devem se ater muito mais às condições da qualidade do meio ambiente e de vida e preterir as definições conceituais (LIMA, 2011).

Eram raros os trabalhos de avaliação da qualidade ambiental de cidades realizados até o início do ano 2000 (RUFINO, 2002). Existem algumas informações de trabalhos realizados, principalmente por órgãos responsáveis pela questão ambiental com âmbito estadual, como a CETESB, em São Paulo, que trabalha em alguns municípios, com indicadores/índices ambientais de qualidade da água e do ar.

Existem poucos estudos no Brasil que buscam espacializar de forma integrada os componentes do ambiente com o objetivo de diagnosticar e propor melhorias (DIAS et al., 2011). No estudo realizado por Dias et al (2011), os autores não encontraram informações a respeito da agregação de dados que subsidiassem a elaboração de um panorama da situação ambiental das cidades.

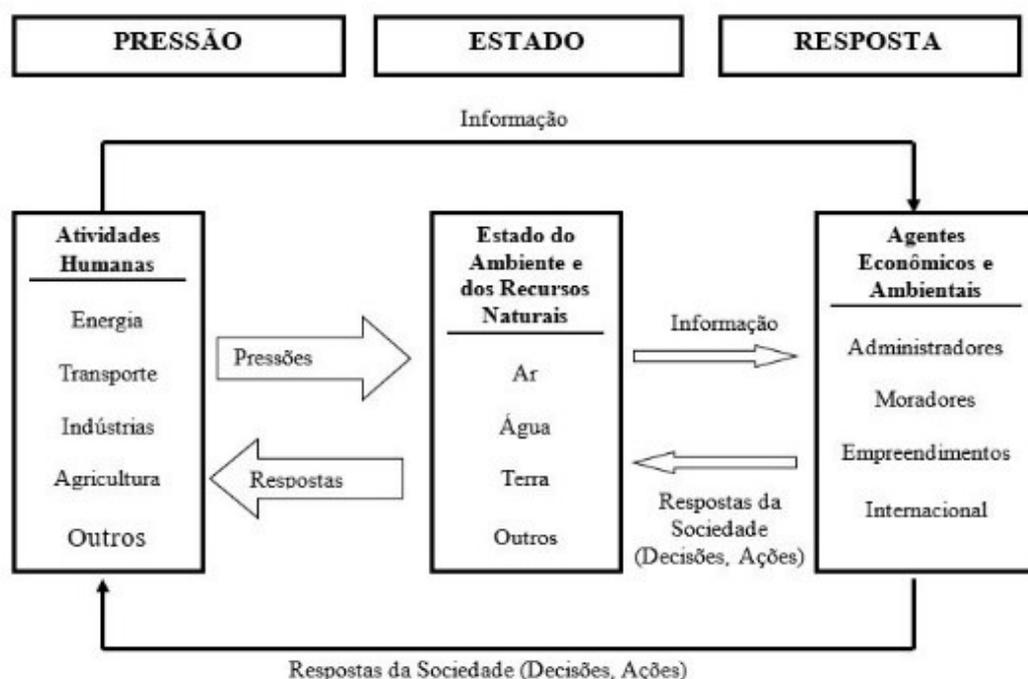
Com a degradação gradual do meio ambiente, a avaliação da qualidade ambiental urbana torna-se importante ponto de investigação, sob o enfoque de construção de um sistema de índice de avaliação da qualidade do ambiente urbano (ZHU, 2010).

### 2.3.2. Indicadores de Qualidade Ambiental

A Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento Ambiental (OECD) define indicadores como “valor derivado de parâmetro, o qual provê informação a respeito do estado de um fenômeno, ambiente ou área, cujo significado excede aquele diretamente associado ao valor do parâmetro”. Em relação a parâmetro, a OECD o conceitua como “uma propriedade que é medida ou observada” (OECD, 1997).

Indicadores ambientais são usados para retratar a qualidade ambiental e dos recursos naturais, e avaliar as condições e as tendências ambientais rumo à sustentabilidade. Para tanto, os indicadores ambientais devem possuir capacidade de síntese, baseados em informações confiáveis possíveis de serem comparadas e acessíveis à população (MÉRICO, 1996).

Na busca do desenvolvimento de indicadores ambientais, a OECD criou o modelo pressão-estado-resposta (figura 1), que atualmente é a metodologia mais utilizada no mundo para a seleção e aplicação de indicadores.



**Figura 1 - Modelo "Pressão-Estado Resposta".**

**Fonte: Ribeiro 2013 (adaptado de OECD, 1997).**

A estrutura pressão-estado-resposta apenas afirma que as atividades humanas exercem pressões (tais como emissões poluentes ou mudanças na forma de usar a terra) sobre o ambiente, que podem induzir mudanças na situação deste (tais como, mudança nos níveis de poluentes no ambiente, na diversidade do habitat e nos cursos de água). A sociedade responde, às mudanças nas pressões ou situação com políticas ambientais e econômicas e programas para prevenir, reduzir ou moderar as pressões e/ou os estragos ambientais (OECD, 1997).

O método proposto pela OECD (1997) pressão-estado-resposta vem sendo muito utilizado na avaliação da qualidade ambiental, de modo a agrupar indicadores e categorizá-los como ferramenta de avaliação da qualidade ambiental. Contudo, devido ao grande número de abordagens que o tema da avaliação da qualidade ambiental pode comportar e da inexistência de um padrão metodológico que se aplique a todas as situações, deve se buscar um método que melhor se encaixe nas peculiaridades do objeto estudado.

Os métodos utilizados, os parâmetros, os atributos e as demais fontes de dados na avaliação da qualidade ambiental podem variar de, extremamente importante em um estudo, para irrelevante em outro, ou vice-versa (DIAS et al., 2011).

Considerando o elevado grau de generalização e representatividade da informação ambiental e o aumento do volume de dados em matéria de ambiente, um nível mínimo de organização desses dados é necessário ao utilizar indicadores ambientais, devido à subjetividade do fator humano na avaliação e condição de fatores ambientais.

### 2.3.3. Qualidade ambiental: Abordagens práticas

Qualidade ambiental é um tema complexo, conceitualmente dominado de fatores subjetivos. A deficiência de informações ordenadas é recorrente na aplicação de indicadores ambientais para avaliação da qualidade do meio ambiente.

O método Pressão-Estado-Resposta criado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 1997), foi utilizado em 07 estudos avaliados. No quadro 01 apresenta a síntese dos trabalhos selecionados, identificando os autores, ano e título da publicação, bem como os indicadores ambientais utilizados para determinação da qualidade ambiental e o sistema de classificação aplicado.

**Quadro 1 - Síntese dos estudos selecionados**

<b>AUTOR E ANO</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>INDICADORES UTILIZADOS</b>	<b>SISTEMA DE DEFINIÇÃO DE INDICADORES</b>
NUCCI (1998)	Metodologia para determinação da qualidade ambiental urbana.	Ocupação e uso do solo	Espacialização dos atributos ambientais por meio de cartas temáticas.
YOUNG (2000)	Análise comparativa da qualidade e	Ocupação e uso do solo, declividade e relevo, tipos de solo,	Aplicação de cartas temáticas para uso em um Sistema de

	zoneamento Ambiental de duas microbacias urbano – Rurais: Uma contribuição metodológica.	capacidade de uso das terras, cobertura vegetal, hidrografia, sistema viário, atividades socioeconômicas, paisagem, adequabilidade do uso da terra, fragilidade do meio físico.	Informações Geográficas - SIG
BADANHAN (2001)	Indicadores e padrões de qualidade ambiental na construção de dutovias para o transporte de gás natural.	Assoreamento, danos à infraestrutura, Disposição de resíduos, entulhos, conduta Imprópria.	Levantamento junto à comunidade, aos órgãos ambientais e recomendações dos empreendedores.
BRAGA et al. (2002)	Índice de sustentabilidade urbana.	Qualidade da água, qualidade da habitação, conforto ambiental, condições de vida, renda, redução da pressão antrópica, políticas públicas ambientais.	Indicadores selecionados a partir de revisão bibliográfica, tendo como balizador a concepção de sustentabilidade
RUFINO (2002)	Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais.	Disposição de Resíduos, qualidade do ar, qualidade da água, cobertura florestal.	Pressão-Estado-Resposta
MATTOS (2005)	Avaliação da qualidade ambiental da bacia	Densidade Demográfica, domicílios localizados	Pressão-Estado-Resposta

	<p>hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP).</p>	<p>em aglomerados subnormais, serviço de coleta de lixo domiciliar e domicílios ligados à rede geral de esgoto;</p> <p>Declividade, densidade de drenagem, impermeabilização e exposição do solo e presença de cobertura vegetal e renda dos responsáveis por domicílios;</p> <p>Participação popular no Orçamento Participativo, prioridades definidas no Orçamento Participativo ligadas à melhoria da qualidade ambiental, diretrizes definidas pelo Plano Diretor de Campinas, referentes à melhoria da qualidade ambiental.</p>	
<p>BRIGUENTI (2005)</p>	<p>O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas.</p>	<p>Aspectos dos elementos físicos do geossistema (relevo, hidrografia, solo e topografia), os <i>inputs</i> que representam o fator antrópico (população, arruamento, domicílios, renda,</p>	<p>Pressão-Estado-Resposta</p>

		escolaridade e destino de lixo), Áreas preservadas e/ou com cobertura vegetal (áreas verdes e parques urbanos).	
NICHOL et WONG (2005)	Modeling Urban Environmental Quality in a Tropical City	Conforto térmico, cobertura vegetal, densidade de edificação, poluição do ar e composição da vegetação	Modelagem de sistemas ambientais por meio de sensoriamento remoto
CAMARGO (2007)	Qualidade ambiental e adensamento Urbano na cidade de Presidente Prudente (SP).	Densidade populacional, Uso e Ocupação do Solo, Pontos de Enchentes, Temperatura.	Espacialização dos atributos ambientais por meio de cartas temáticas (Metodologia proposta por NUCCI, 1998)
FREITAS E LOMBARDO (2007)	Índices Urbanísticos e Qualidade Ambiental em Áreas Centrais em Metrôpoles: O caso de São Paulo	Composição da vegetação arbórea, corpos d'água, prédios altos (acima de quatro pavimentos).	Modelagem de sistemas ambientais por meio de sensoriamento remoto
MORATO (2008)	Análise espacial e desigualdade ambiental no município de São Paulo.	Abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, arborização urbana, ocorrência de inundações e/ou escorregamentos,	Aplicação de cartas temáticas para uso em um Sistema de Informações Geográficas - SIG

		presença de reservatórios de retenção das águas pluviais (piscinões) e áreas contaminadas	
SOUZA (2009)	Qualidade Ambiental em cidades médias: Estudo de caso da cidade de Campos dos Goytacazes.	Efeitos da verticalização, intensidade de tráfego	Levantamento junto à comunidade (entrevista)
BARGOS (2010)	Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador de qualidade ambiental: Estudo de caso de Paulínia (SP).	Cobertura vegetal, ocupação e uso da terra, densidade demográfica, distribuição de renda.	Aplicação de cartas temáticas para uso em um Sistema de Informações Geográficas - SIG
ZHU (2010)	Modeling and Analysis of Urban Environmental Quality Evaluation. A case study on Xiamen City.	Uso do solo; Monitoramento do Controle de Poluição.	Pressão-Estado-Resposta
ROSSATO et al. (2010)	Condições econômicas e nível de qualidade ambiental no Estado do Rio Grande do Sul.	Percentual de áreas com florestas nativas e plantadas, índice de saneamento, índice de potencial poluidor da indústria, porcentual de domicílios particulares permanentes que jogam lixo em terreno baldio	Modelagem de Sistemas Ambientais

		ou logradouro; e percentual de domicílios particulares permanentes que queimam lixo em sua propriedade.	
LIMA (2011)	Do mapa ao modelo: Representação da qualidade ambiental urbana de Osvaldo Cruz (SP).	Densidade populacional, Áreas de risco de enchentes, Cobertura vegetal arbórea	Planejamento da paisagem, estudos aplicados a Ecologia da Paisagem.
DIAS et al. (2011)	Avaliação da qualidade ambiental urbana da bacia do Ribeirão do Lipa através de indicadores, Cuiabá (MT).	Indicadores de Infraestrutura no saneamento básico e cobertura vegetal	Levantamento Bibliográfico (nenhum sistema definido)
VASILE (2011)	The Evaluation of the Environmental Quality in Romania	50 indicadores escolhidos	Pressão-Estado-Resposta
SEIFOLLAHI et FARYADI (2011)	Evaluating the Quality of Tehran's Urban Environment Based on Sustainability Indicators	Uso do solo, Indicadores Socioeconômicos	Análise Comparativa de Indicadores
DAMASCENO (2012)	Análise da qualidade ambiental urbana na cidade de Uberlândia (MG) a	Abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, domicílios improvisados.	Aplicação de cartas temáticas para uso em um Sistema de Informações Geográficas – SIG

		partir de indicadores socioambientais.		(Modelo de MORATO, 2008)
PECHE et RODRÍGUES (2012)		Development of Environmental Quality Indexes Based on Fuzzy Logic. A Case Study.	pH, compactação, salinidade e matéria orgânica de solos.	Modelagem a partir dos princípios de lógica difusa.
MINAKI E AMORIM (2012)		Análise da qualidade ambiental urbana.	Ocupação e uso do solo, poluição, cobertura vegetal, densidade de edificação, espaços livres, conforto térmico.	Espacialização dos atributos ambientais por meio de cartas temáticas (metodologia proposta por NUCCI, 1998)
ASSIS E OLIVEIRA (2013)		Qualidade ambiental urbana: Avaliação da área central da cidade de Ituiutaba (MG).	Uso do Solo; Atividades Potencialmente Poluidoras; Enchentes; Verticalidade das Edificações; Densidade Demográfica; Espaços Livres Públicos e Áreas Verdes.	Análises dos usos e elaboração de cartas temáticas.
RIBEIRO (2013)		Avaliação da qualidade ambiental no município de Aparecida de Goiânia (GO).	Resíduos sólidos, pavimentação asfáltica, rede de drenagem pluvial, densidade demográfica, perda de água tratada na rede de abastecimento, processos erosivos, áreas de descarte irregular de resíduos,	Pressão-Estado-Resposta

		qualidade da água, taxa de desmatamento, vegetação remanescente, implantação de parques municipais, população com acesso a água tratada, população atendida por sistema de esgotamento sanitário.	
TEZA (2016)	Proposta de modelagem de qualidade ambiental em áreas metropolitanas, por meio de dados de sensoriamento remoto	Morfometria de bacias, declividade, evapotranspiração real, supressão da vegetação, desconforto térmico, impermeabilização e intensidade de queimada.	Modelagem para aplicação, Pressão-Estado-Resposta

Para alguns pesquisadores a qualidade ambiental deve ser determinada a partir do conceito de sustentabilidade, outros apenas fizeram referência. A maioria dos trabalhos aqui apresentados partem do pressuposto que a qualidade ambiental deve ser avaliada a partir de seu aspecto antropocêntrico.

## 2.4. CONCLUSÃO

Analisando os conceitos de qualidade ambiental citados neste trabalho, pode-se notar que este tema não está associado a indicadores precisos e definitivos. Diversos autores utilizaram-se do método de Pressão-Estado-Resposta para definir classificar os indicadores de qualidade ambiental. Todos os trabalhos, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento do tema, seja no modo de classificação, ou na escolha de indicadores ambientais.

Baseado nos estudos selecionados a escolha dos indicadores varia conforme a perspectiva utilizada no conceito de qualidade ambiental. Formar um sistema de classificação e ordenação de indicadores para avaliação da qualidade ambiental, abrange a dificuldade de relacionar dados gerados em diferentes escalas e unidades.

A determinação da qualidade ambiental, deve possuir critérios que permitam avaliar o grau de modificação do sistema ambiental natural. A legitimidade de um modelo que possa medir a qualidade ambiental, deve partir da capacidade de entender, qualificar e quantificar os modos de alteração do ambiente natural.

## **2.5. REFERÊNCIAS**

ASSIS, S.S.; OLIVEIRA, H.C.M. Qualidade ambiental urbana: Avaliação da Área Central da Cidade de Ituiutaba (MG). Departamento de Geografia da FCT/UNESP, 13(2), p. 26-41. Presidente Prudente, **2013**.

BADANHAN, L F. Indicadores e Padrões de Qualidade Ambiental na Construção de Dutos para o Transporte de Gás Natural. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, **2001**.

BARGOS, D. C. Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental urbana: estudo de caso de Paulínia-SP. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, **2010**.

BRAGA, T. M., FREITAS, A.P.G., DUARTE, G.S. Índice de Sustentabilidade Urbana. I Encontro Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anais). Indaiatuba, **2002**.

BRIGUENTI, E.C. O Uso de Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia do Ribeirão Anhumas. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, **2005**.

CAMARGO, C.E.S. Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano na Cidade de Presidente Prudente (SP). Dissertação (Mestrado). UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, **2007**.

CEPAL, Comissão Econômica para América Latina e o Caribe da ONU. Indicadores de Aplicação e Cumprimento da Norma Ambiental para Ar, Água e Vegetação no Brasil. Nações Unidas. Chile, **2007**. Disponível em: <<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/31998/W156.pdf>>. Acessado em: 27-08-2013.

DAMASCENO, L. L. B. Análise da qualidade ambiental urbana da cidade de Uberlândia (MG) a partir de indicadores socioambientais. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia. Uberlândia, **2012**.

DIAS, F. A., GOMES, L. A., ALKMIM, J. K. Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia do Ribeirão do Lipa Através de Indicadores, Cuiabá/MT. Sociedade & Natureza, 23 (1), p. 127-147. Uberlândia, **2011**.

EEA, European Environmental Agency. Glossary of Environment Statistics – Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS). EIONET, Environment Information and Observation Network. European Union,

1997. Disponível em: [http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=environmental%20quality](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=environmental%20quality). Acessado em: 06-05-2015.

FREITAS, M.K.; LOMBARDO, M.A. Índices Urbanísticos e Qualidade Ambiental em Áreas Centrais de Metrôpoles: o caso de São Paulo. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, 06 (12), p. 69-81, **2007**.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Editora Bertrand Brasil. 8ª Ed. Rio de Janeiro, **2011**.

LIMA, Valéria. “Do Mapa ao Modelo”: Representação da Qualidade Ambiental Urbana de Osvaldo Cruz/SP. *In: Braz. Geografia em Questão*, V.04, N. 01: 112-125, **2011**.

MACHADO, L.M.C.P. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. *In: Indicadores Ambientais*. MARTOS, Henry Lesjak; MAIA, Nilson Borlina. *Indicadores Ambientais*. Sorocaba: [s.n.], **1997**.

MATTOS, S.H.V.L. Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, **2005**.

MERICO, L.F.K. *Introdução à Economia Ecológica*. Editora da FURB. Blumenau, **1996**.

MINAKI, C.; AMORIM, M. C. C. T. Análise da qualidade ambiental urbana. *Mercator Revista de Geografia da UFC*, 11(24), p.229-251. Fortaleza, **2012**.

MORATO, R.G. Análise Espacial e Desigualdade Ambiental no Município de São Paulo. Tese (doutorado), Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, **2008**.

MULHOLLAND, D.S. Geoquímica Aplicada à Avaliação da Qualidade de Sistemas Aquáticos da Bacia do Rio Paracatu (MG). Dissertação (Mestrado nº 256), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, **2009**.

NICHOL, J.; WONG, M.S. Modeling urban environmental quality in a tropical city. *In: Landscape and Urban Planning*, 73, p. 49-58, **2005**.

NUCCI, J.C. Metodologia para Determinação da Qualidade Ambiental Urbana. *Revista do Departamento de Geografia*, n12, p. 209-224, **1998**.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. *Environmental Performance Reviews: A Practical Introduction*. OECD. Paris, **1997**.

PECHE R.; RODRÍGUEZ E. Development of environmental quality indexes based on fuzzy logic. A case study. Department of Chemical and Environmental Engineering, University College of Engineering of Vitoria-Gasteiz, University of the Basque Country, *Ecological Indicators*, 23, p. 555–565. Spain, **2012**.

RIBEIRO, T.G. Avaliação da Qualidade Ambiental no Município de Aparecida de Goiânia. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais. Goiânia, **2013**.

ROSSATO, M. V.; LIMA, J. E.; LIRIO, V. S. Condições econômicas e nível de qualidade ambiental no estado do Rio Grande do Sul. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, 48(3), p. 587-604. Piracicaba, **2010**.

RUFINO, Rui César. Avaliação da Qualidade Ambiental do Município de Tubarão (SC) Através do Uso de Indicadores Ambientais. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, **2002**.

SCOPE. Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on the environment in the context of sustainable development. *In: GOUZEE, N. & BILHARZ, S. Indicators of sustainable development for decision-making*. N. Federal Plannig Office. Bruselas, **1995**.

SEIFOLLAHI, M; FARYADI, Sh. Evaluating the Quality of Tehran's Urban Environment Based on Sustainability Indicators. *Int. J. Environ. Res.* V5(2), p. 545-554. Spring, **2011**.

SOUZA, J.I.B. Qualidade ambiental em cidades médias: estudo de caso da cidade de Campos dos Goytacazes. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 3(1), p. 117-134. Campos dos Goytacazes, **2009**.

TEZA, C.T.V. Proposta de modelagem de qualidade ambiental em áreas metropolitanas, por meio de dados de sensoriamento remoto. Tese (doutorado), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, **2016**.

VASILE, S. RADITAS, A. MARIAC, K. C. DANUTS, T. MIHAELAS, S. The Evaluation of the Environmental Quality in Romania. *Geographica Pannonica*, V15 (2), p. 42-50. Romenia, **2011**.

YOUNG, A.F. Análise Comparativa da Qualidade e Zoneamento Ambiental de Duas Microbacias Urbano – Rurais: Uma Contribuição Metodológica. Dissertação (mestrado), Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, **2000**.

ZHU, Jiulong. Modeling and Analysis of Urban Environmental Quality Evaluation: A Case Study on Xiamen City. *In: Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI)*, International Conference on Kaifeng. P. 76-79. China, **2010**.

### **3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Para identificação da área de estudo (Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns), foi realizada a modelagem digital do terreno, a partir de Imagens Topográficas de Radar Transportado – SRTM.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns foi derivada de informações hidrologicamente úteis a partir de dados de Modelo Digital de Elevação (MDE), neste caso, dados SRTM do projeto TOPODATA do INPE. A ideia baseia-se no conceito do campo de fluxo hídrico sendo representado por um fluxo de cada célula do grid para um ou mais dos seus vizinhos. Para que isto funcione a topografia não deve ter depressões espúrias, definida como uma ou mais células do grid, cercada completamente por terrenos muito elevados. O primeiro passo na análise de terreno hidrológico é a remoção das depressões espúrias. Um MDE com depressões espúrias removidas é definido como hidrologicamente correto e pode ser usado para calcular as direções de fluxo para cada célula da malha. Uma vez que os sentidos de fluxo foram calculados, passamos a derivação do fluxo de informação relacionada com o terreno, tais como a área contribuição para cada célula da imagem, o caminho percorrido pelo fluxo proveniente de um conjunto de células imagem, sub-bacias e o fluxo de rede.

#### **3.1.1. Caracterização da Área de Estudo: Goiânia – Bacia Do Ribeirão Anicuns**

O município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, conforme dados do IBGE (2014) possui 1.412.364 habitantes, sendo a capital estadual mais próxima à capital federal. Seu território possui 733,116 km<sup>2</sup>, situa-se na mesorregião do Centro Goiano e na Microrregião de Goiânia. Possui geomorfologia contínua, com poucos morros e baixadas, apresentando terras planas na maior parte de seu território. Em sua hidrografia destacam-se o Rio Meia Ponte e o Ribeirão Anicuns, seu principal afluente no território municipal (CASSETI, 1992).

A Bacia do Ribeirão Anicuns (Figura 2), possui uma área de drenagem de aproximadamente 199 km<sup>2</sup>, com comprimento total do curso d'água de 24 km. O Ribeirão Anicuns nasce na divisa dos municípios de Goiânia e Trindade, próximo ao Parque Eldorado Oeste, e sua nascente é formada pelos Córregos Forquilha e Quebra Anzol. O Ribeirão Anicuns tem, como principais afluentes pela margem direita, os córregos: Cavalo Morto, Taquaral, Macambira, Cascavel e Botafogo; e, pela margem esquerda, os córregos: da Cruz e Samambaia. Deságua na margem direita do Rio Meia Ponte (ITCO, 2008).

Estima-se que 70% da população da capital estejam ocupando a bacia do Ribeirão Anicuns, perfazendo aproximadamente 988 mil habitantes nessa localidade (figura 2). Essa

bacia apresenta problemas comuns a cursos d'água urbanos, tais como a deterioração da qualidade da água, enchentes, erosões e assoreamentos (ITCO, 2008).

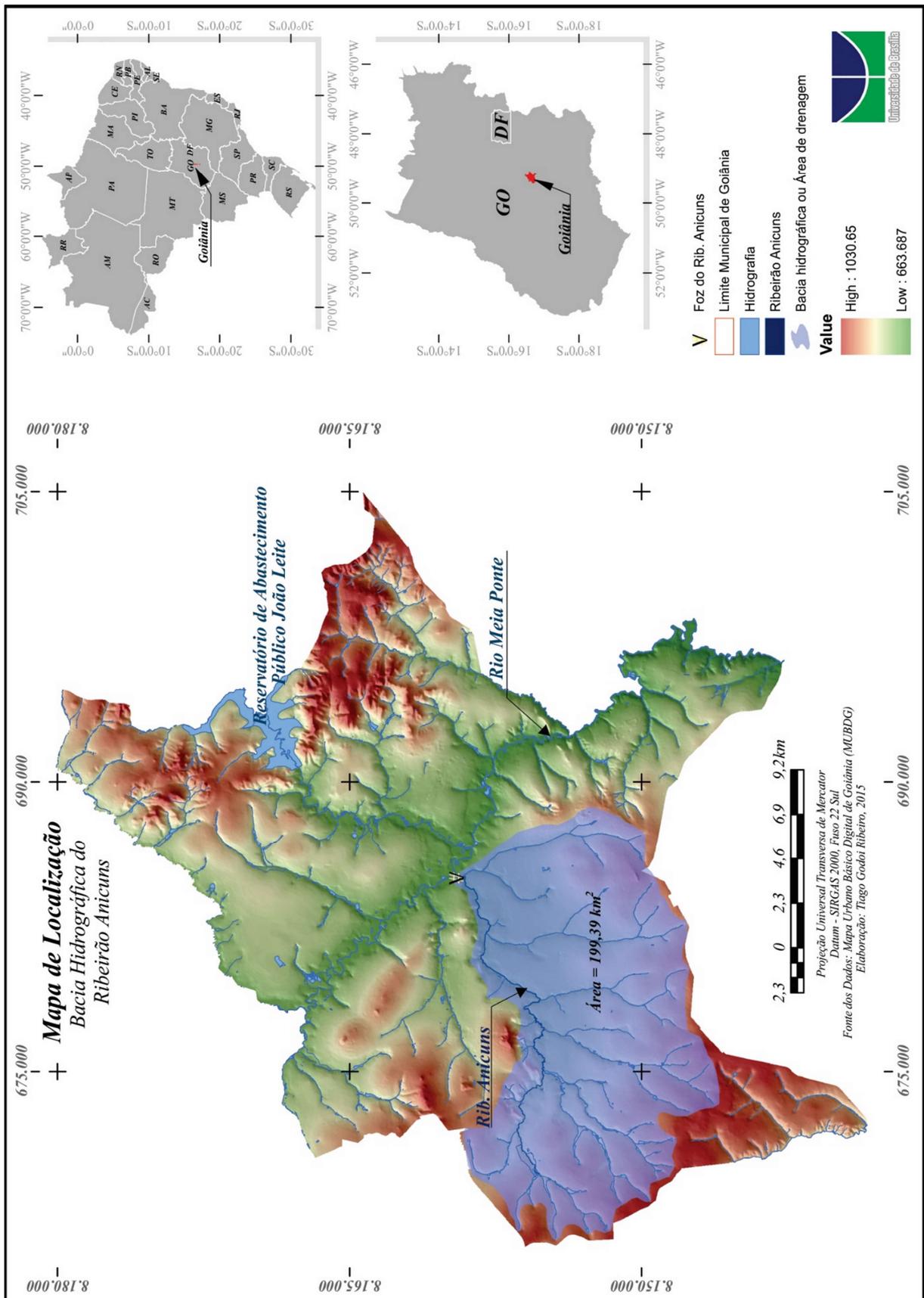


Figura 2 - Localização da Bacia do Ribeirão Anicuns.

### 3.1.2. Classificação de Uso do Solo

Para a análise do atual uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns em Goiânia foi realizado o mapeamento por meio de dados orbitais de sensoriamento remoto. Foram utilizadas imagens de satélite multiespectrais do tipo OLI (Landsat-8), Earth Explorer (NASA), de janeiro de 2015.

O processo de mapeamento da cobertura e uso do solo foi elaborado por meio da classificação semiautomática (classificação supervisionada), na qual se definiram as classes de interesse, onde os pixels das imagens foram enquadrados dentro das classes pré-definidas e calculados parâmetros estatísticos que as descreveram as classes de interesse (LUCHIARI, 2001). Existem vários tipos de algoritmos de classificação, mas o objetivo geral é produzir um mapa temático da cobertura da terra.

O algoritmo utilizado foi o de Máxima Verossimilhança que calcula as distribuições de probabilidade para as classes, relacionados com o teorema de Bayes, estimando se um pixel pertence a uma classe de cobertura do solo. Em particular, as distribuições de probabilidade para as classes assumem a forma de modelos de normais multivariadas (Richards e Jia, 2006). A fim de utilizar este algoritmo, é necessário um número suficiente de pixels para cada área de formação permitindo o cálculo da matriz covariância.

### 3.1.3. Cobertura e Uso do Solo

Foram identificadas oito classes de uso para o a área da bacia, são elas: água, área urbana, cultura, pivô, cerrado, pastagem, solo exposto e vegetação (Figura 3). O quantitativo de áreas das classes identificadas no mapa de uso do solo no ano de 2015 pode ser visualizado logo abaixo na tabela 1.

**Tabela 1 – Cobertura e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Anicuns (2015).**

#### **QUANTITATIVOS DE ÁREAS - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUS**

<b>CLASSE</b>	<b>Área em Hectares</b>	<b>Área em km<sup>2</sup></b>
Agricultura - Cultura	247,95	2,52
Agricultura - Pivô	8,46	0,086
Cerrado	1512,36	15,308
Pastagem	2495,37	18,453
Solo Exposto	1680,25	15,169
Vegetação Remanescente	1885,04	17,616
Água	49,5	0,522
Área Urbana ou Núcleo Rural	26779,33	129,711

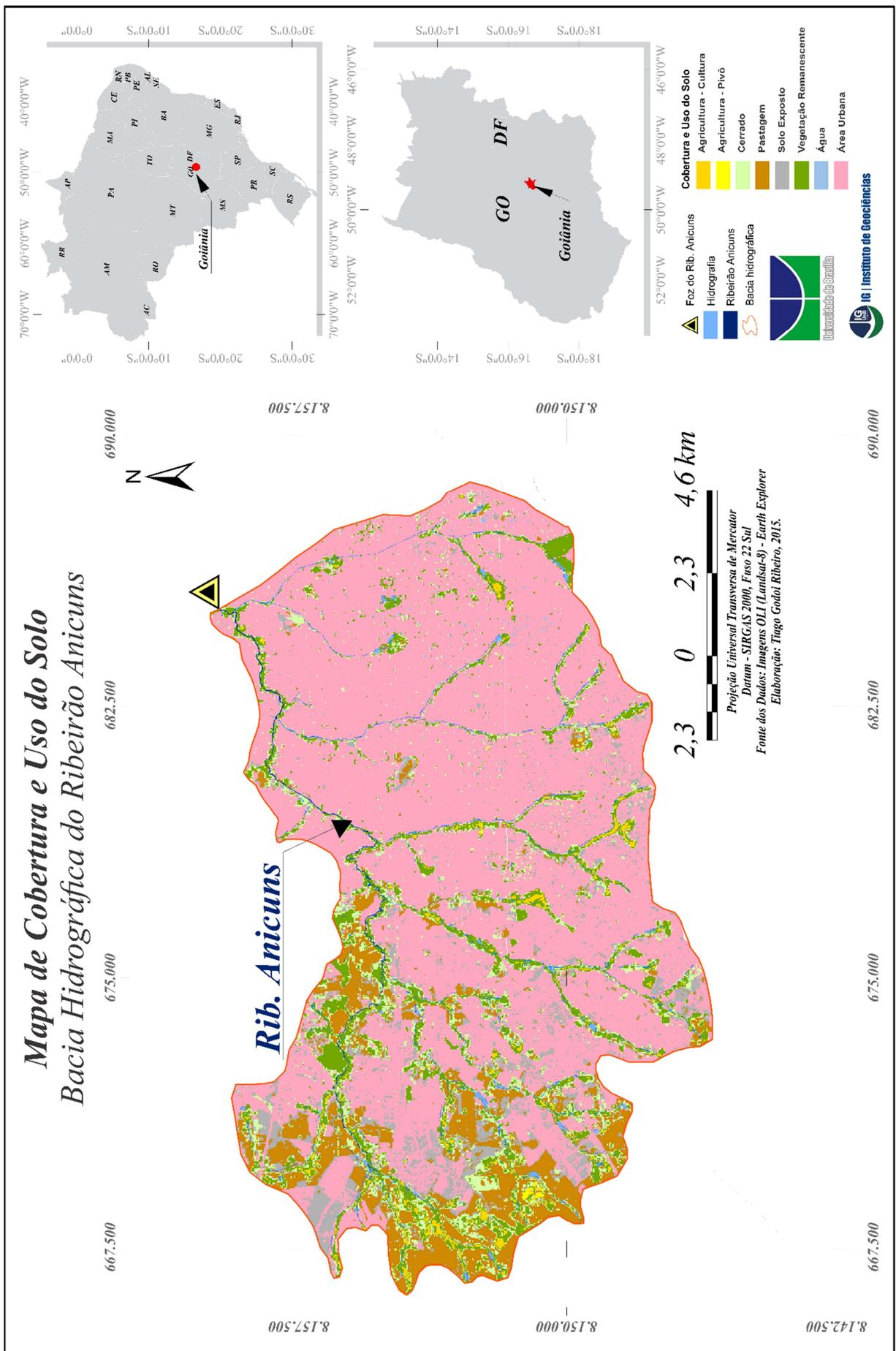


Figura 3 - Cobertura e Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Anicuns.

Conforme ilustra a Figura 3 é possível verificar diversas situações, nas áreas analisadas, desde Áreas de Preservação Permanentes (APPs) bem preservadas até locais com empreendimentos instalados. A identificação do uso do solo facilita a delimitação dos pontos de amostragem de água e sedimentos para o estudo proposto.

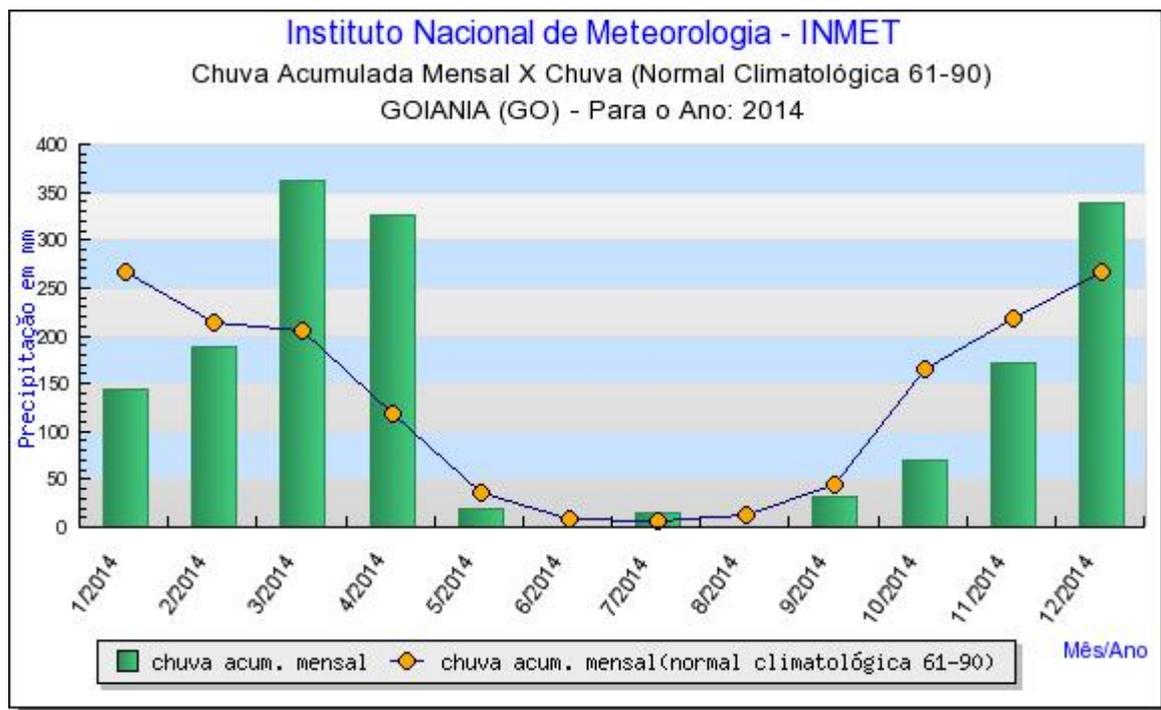
Analisando o mapa de uso do solo verifica-se que a maior parte do território da bacia do Ribeirão Anicuns está tomada pela área urbana e que boa parte das APPs, perderam sua cobertura vegetal. Diversas são as drenagens cujas matas ciliares foram suprimidas, como é o caso do Córrego Botafogo, atualmente canalizado e margeado por uma via pavimentada.

#### **3.1.4. Clima de Goiânia**

O município de Goiânia, capital do Estado, possui estação climatológica do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e portando apresenta dados relativos às suas condições climáticas. Os dados utilizados apresentados são os da série histórica (normais climatológicas, 1961-1990) da estação Goiânia do INMET (16°40' latitude sul e 49°15' longitude oeste), localizada na área da bacia do Ribeirão Anicuns.

Goiânia está localizada em uma região que possui clima, segundo a classificação de Köppen (1931), tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, e outra úmida, com chuvas torrenciais, que correspondem ao período de primavera e verão.

Existe uma variação sazonal na incidência de chuvas, com maiores índices de precipitação de outubro a março e valores mínimos de abril a setembro, mostrando uma distribuição irregular da pluviosidade ao longo do tempo, caracterizando um verão chuvoso e um inverno seco. Nos meses de janeiro e fevereiro, que são normalmente os de maior precipitação, podem ocorrer períodos de interrupção total, que chegam a atingir até mais de uma semana, caracterizando o “veranico”, como é conhecido, que se faz acompanhar de desastres na agricultura. O total pluviométrico anual para a região de Goiânia gira em torno de 1.500 mm à 1.600 mm (Figura 4).



**Figura 4 - Gráfico chuva acumulada mensal x chuva (Normal Climatológica 1961 -1990), Estação Goiânia, ano 2014.**

**Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2015)**

A umidade relativa do ar apresenta estreita relação com a variação sazonal da precipitação: a maior umidade, foi registrada no período de novembro a abril, quando a média mensal está acima de 70%, com destaque para os meses de dezembro e janeiro, com 80%. O período de estiagem, que vai de julho a setembro, justifica a baixa umidade relativa do ar, quando os índices ficam um pouco acima dos 50%, o menor índice, 51% foi registrado no mês de agosto.

### **3.1.5. Contexto Geológico de Goiânia – Bacia do Anicuns**

A bacia do ribeirão Anicuns tem como característica morfológica uma assimetria de drenagem e relevo que reflete um contato de litologias distintas marcado por falha geológica de direção leste-oeste. O substrato rochoso da bacia é formado por rochas do Paleoproterozóico, representadas pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, por rochas do Mesoproterozóico, representadas pelo Grupo Araxá – Sul de Goiás e por Depósitos Aluvionares do Quaternário (BRITO, 2011), ver figura 5.

O Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu compreende um conjunto de rochas gnáissicas de alto grau (orto e paraderivadas) e tectonicamente intercaladas com direção geral NW-SE. Essas rochas apresentam bandamento e textura de fina à média e, às vezes, encontram-se intensamente milonitizadas (CPRM, 1999).

Esse Complexo é formado por Granulitos Ortoderivados e Granulitos Paraderivados. Os Granulitos Ortoderivados são representados por anfibolitos, metagrabos, metapiroxenitos, metaperidoditos, talco xisto, talco-clorita xisto e serpentinitos. Os granulitos paraderivados são caracterizados por gnaisses sílicoaluminosos e quartzo-feldspáticos, granada gnaisses, rochas calcissilicáticas, diopsídio mármores, granada quartzito e gonditos, associados com gnaisses graníticos e subordinadamente ocorrem granulitos ortoderivados associados.

O Grupo Araxá Sul de Goiás, composto por rochas metassedimentares do Proterozóico Médio, trata-se de um conjunto de rochas vulcânicas e sedimentares que sofreu metamorfismo de grau médio a forte. Resultando em xistos, gnaisses e quartzitos, dobrados, fraturados e falhados (CUNHA et al., 1999, MARQUES, 2008).

Os Depósitos Aluvionares do Quaternário, encontrados na bacia, são caracterizados por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, com níveis de cascalho, silte e argila (MARQUES, 2008).

Considerações geológicas realizadas na região da bacia, evidenciaram extensas áreas de formações superficiais cenozóicas encobrendo as rochas cristalinas polimetamórficas que formam o substrato local. Esse conjunto litoestratigráfico mais recente é constituído pelos alúvios e colúvios terciários/quaternários (CUNHA et al. 1999).

A importância das formações superficiais cenozoicas, além de condicionarem o abastecimento dos freáticos livres, também possibilitam o desenvolvimento diversificado da vegetação, responsável pela existência e manutenção da fauna e pela redução dos processos erosivos. Essas formações superficiais representam a base para os processos de produção do espaço, servindo como fonte para a produção tecnogênica, além de testemunharem os diferentes graus de intensidade da ação antrópica (CUNHA, 2000).

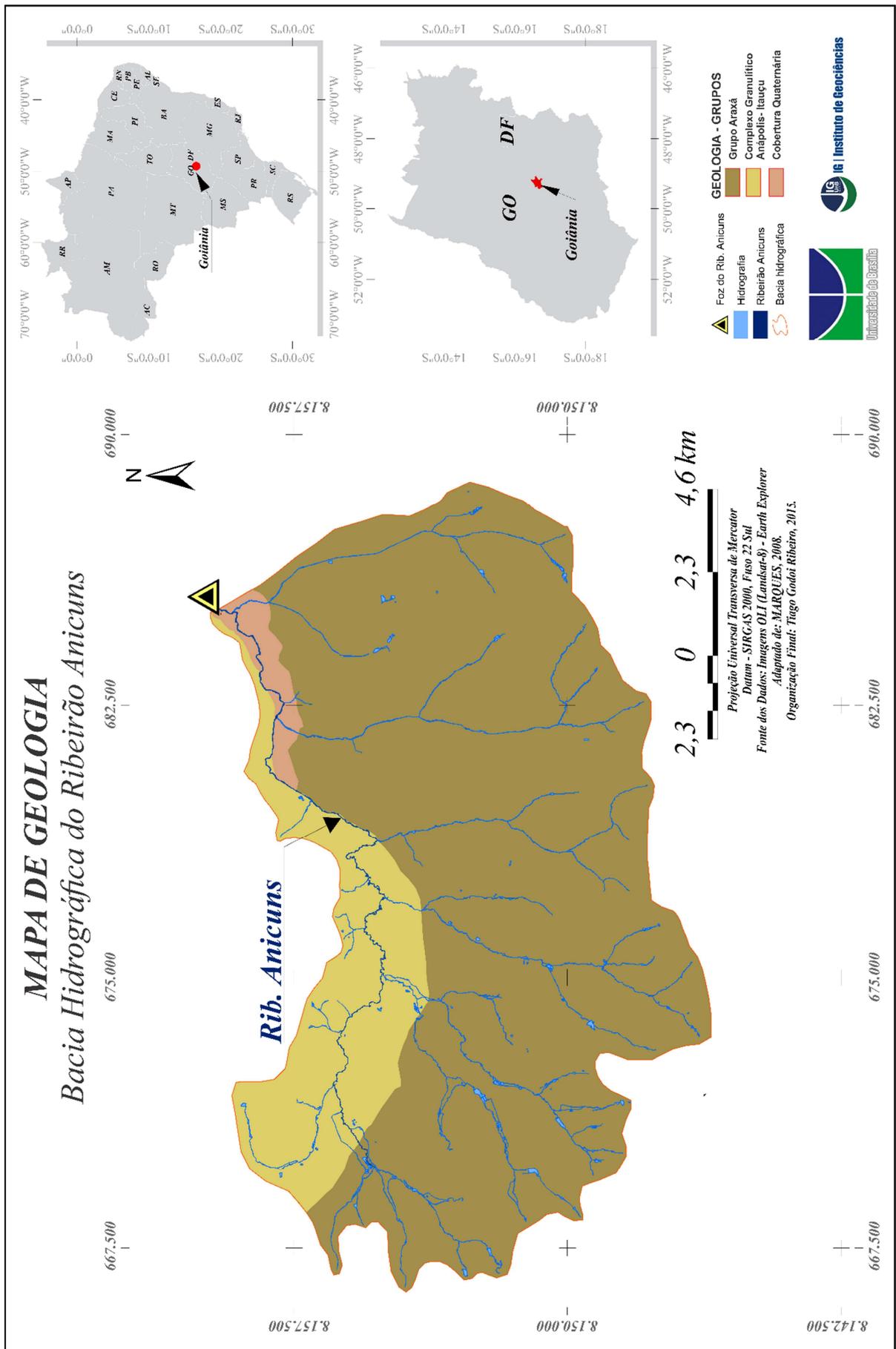


Figura 5 - Geologia do município de Goiânia.

Adaptado de: Marques, 2008.

### **3.1.6. Contexto Pedológico de Goiânia – Bacia do Anicuns**

Na região bacia do Ribeirão Anicuns podem ser verificadas quatro classes de solos distintas: Latossolos; Argissolos; Gleissolos; Cambissolos, conforme apresentado na figura 54 (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Os latossolos são solos minerais antigos, profundos e bem drenados. Na região ocorrem Latossolos Vermelho Amarelo distrófico (LVd1), (LVd2) e (LVd3), ambos com A moderado e textura argilosa. Encontrados em domínios de topografia plana (LVd1) à suavemente ondulada (LVd2) e ondulado a ondulado (LVd3). Latossolos Vermelho Escuro distróficos com A moderado e textura argilosa a muito argilosa (LEd1), são encontrados em relevo plano. Em áreas de relevo suave ondulado também são encontrados Latossolos Vermelho Escuro distrófico (LEd3) com textura argilosa (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Na região dos vales, onde o relevo sofre ruptura, os Latossolos são substituídos pelos Argissolos. Os Argissolos Vermelhos distróficos TB (PV), com A moderado, situam-se em relevo suave ondulado a ondulado com textura média argilosa. Os Cambissolos Háplicos eutróficos Tb cascalhento (CX1), com A moderado, localizam-se em relevo ondulado a forte ondulado, com textura argilosa (CPRM, 1999; EMBRAPA, 2006; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Na porção nordeste da bacia, nos domínios da planície fluvial do ribeirão Anicuns, evidencia-se presença de Gleissolo Eutrófico, solo hidromórfico constituído por material mineral (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Geralmente nos locais de depressões ocorrem os solos aluviais ocupando pequenas faixas. Estes solos têm origem pela deposição de materiais predominantemente minerais, arrastados pela enxurrada e depositados nas partes baixas. Sua profundidade é variável e, por serem recentes, não apresentam diferenciação em horizontes (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Os cambissolos e litossolos, ambos associados a materiais concrecionários e pedregosos, são encontrados na região noroeste da bacia, onde o relevo apresenta alto grau de dissecação. Devido à topografia da região, os dois tipos de solo estão sujeitos a processos erosivos (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Com origem nos depósitos de materiais orgânicos carregados e decompostos, os solos orgânicos ocorrem apenas em faixas descontínuas situadas ao longo dos leitos dos cursos d'água. São solos ácidos, devido à reação de decomposição dos materiais originários, sua coloração é escura e estão sempre sujeitos a alta umidade. Sua profundidade é variável e são pouco férteis (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

São verificadas ainda na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns Lateritas Hidromórficas, associadas às variações do lençol freático e à presença de grande concentração de óxidos de ferro (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

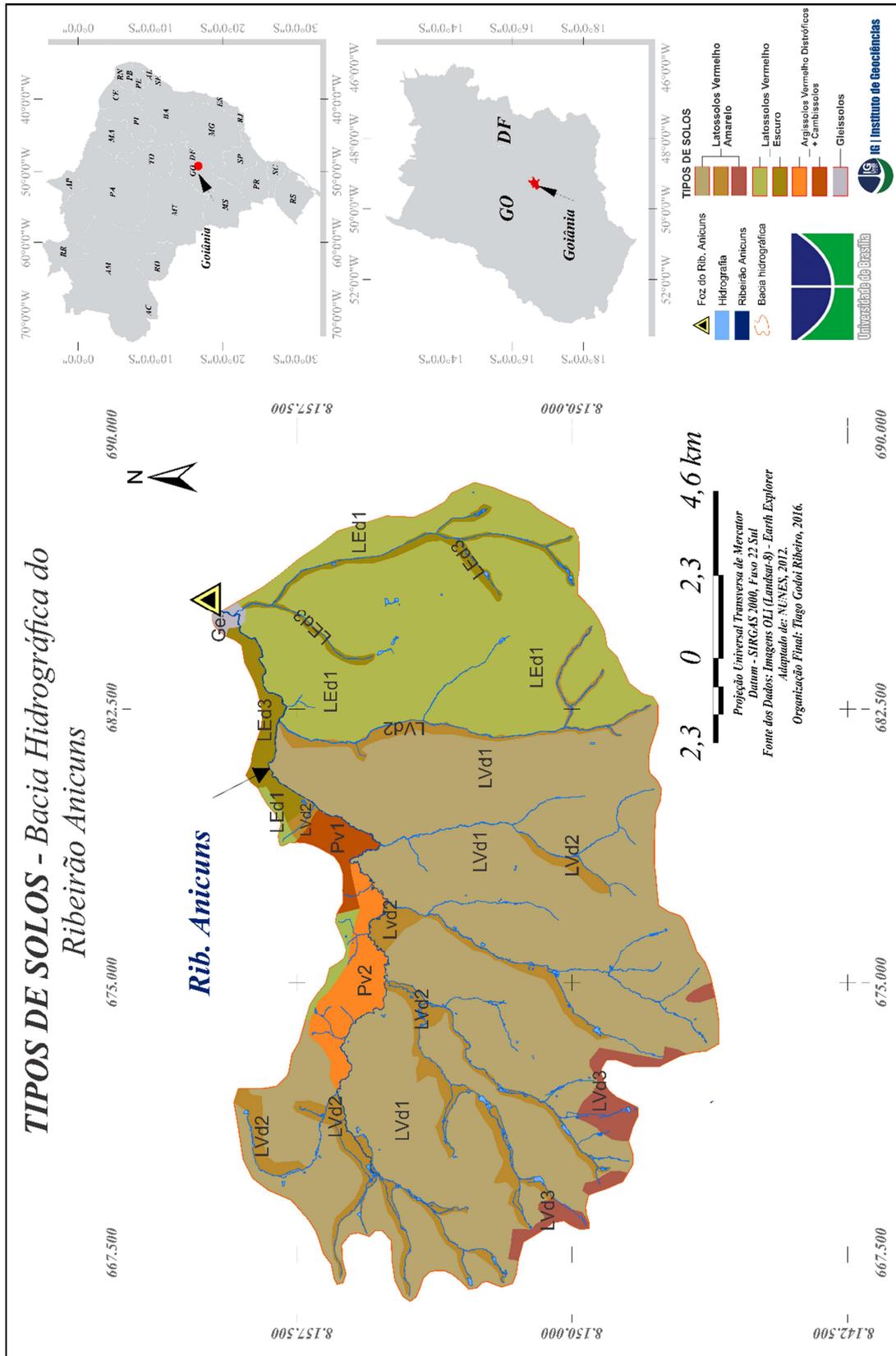


Figura 6 - Pedologia da Bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO.

Adaptado de Nunes, 2012.

### 3.1.7. Contexto Geomorfológico de Goiânia – Bacia do Anicuns

A bacia hidrográfica do ribeirão Anicuns está localizada no Planalto Rebaixado de Goiânia que, juntamente com o Planalto do Distrito Federal, o Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba e as Depressões Intermontanas, integra uma unidade geomorfológica maior, o Planalto Central Goiano (MAMEDE et al., 1983; CASSETI, 1992).

Cinco unidades geomorfológicas de distribuição espacial estão presentes na bacia do ribeirão Anicuns: Planalto Embutido de Goiânia, Chapadas de Goiânia, Planalto Dissecado de Goiânia, Planícies de Inundação e Fundos de Vale (CASSETI, 1992).

O Planalto Embutido de Goiânia (área de 142,54 Km<sup>2</sup>), representando 61,70% da área da bacia, é caracterizado por vertentes convexas (relacionadas aos granulitos máficos, silimanita-granada gnaisses e metagabros) e tabulares (relacionada aos micaxistos, granada-clorita-biotita-quartzo-xistos, feldspáticos) (BRITO, 2011). Com declividade entre 5% e 10%, suas vertentes suavemente convexizadas encontram-se revestidas por Latossolos distróficos. No limite dos vales, onde o relevo sofre ruptura, o solo é substituído pelos Podzólicos (Cunha, 2000).

Na unidade do Planalto Embutido de Goiânia verificam-se alguns problemas como erosão laminar e conseqüente assoreamento dos córregos, fortes enxurradas em decorrência da impermeabilização das áreas próximas, subdimensionamento das galerias pluviais, promovendo alagamentos e surgimento de erosões (CASSETI, 1992; SILVA & OLIVEIRA, 2004; BRITO, 2011).

Representando a seção sudoeste da bacia e correspondendo a 30,78% de sua superfície, está localizada a unidade das Chapadas de Goiânia (área de 71,11 Km<sup>2</sup>). Essa unidade é caracterizada por micaxistos, quartzitos, metagabros e granada-gnaisses (BRITO, 2011). A unidade apresenta ainda colúvios quaternários e terciário-quaternários, integrantes das formações superficiais identificadas na região. Os cursos d'água encontram-se pouco entalhados, caracterizando uma declividade inferior a 5% (CASSETI, 1992).

Na região das Chapadas de Goiânia, verificam-se erosões laminares generalizadas e ravinamentos em locais terraplanados, desmatamento intenso e poluição dos cursos d'água por agrotóxicos, devido ao uso das áreas ribeirinhas para atividades de horticultura e lavouras de subsistência (NASCIMENTO, 1993; BRITO, 2011).

O Planalto Dissecado de Goiânia, com 5,96 Km<sup>2</sup>, corresponde a 2,58% da área da bacia. Compreende a área do Morro do Mendanha, localizado na margem esquerda do ribeirão Anicuns. A unidade é caracterizada pela Superfície de Vertentes Aguçadas, com declives superiores a 30%, cujo grau de dissecação favorece o escoamento, que remove a camada

superficial do solo, originando ravinas e voçorocas (SILVA & OLIVEIRA, 2004; BRITO, 2011).

As Planícies de Inundação correspondem a 0,35% da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, possui 0,78 Km<sup>2</sup>, e são constituídas por sedimentos arenosos intercalados a sequências silto-argilosas. As planícies de inundação são representadas por depósitos aluviais e alúvio-coluviais não compactados, apresentam diques marginais e meandros em diferentes estágios de desenvolvimento e são revestidas por solos aluviais e orgânicos (CASSETI, 1992).

Na região das Planícies de Inundação o relevo, suavemente aplanado, apresenta breves declives em direção aos canais fluviais a que se relacionam. Os depósitos sedimentares associados aos terraços são representados por alúvios e coluviões complexamente interdigitados (CUNHA, 2000).

A ocupação dessas áreas, apresentam muitos problemas socioambientais, como inundações periódicas afetando a população ribeirinha, desmatamento intensivo das matas ciliares, assoreamento dos cursos d'água, contaminação da água e do solo, atividades de corte e aterro (BRITO, 2011).

Os Fundos de Vale representam 4,59% (10,61 Km<sup>2</sup>) da área da bacia, apresentam uma declividade em torno de 40%, que varia de acordo com o grau de incisão da drenagem, relacionada ao comportamento litológico, de natureza tectônica (CASSETI, 1992). Observa-se nessa região o surgimento de processos erosivos (BRITO, 2011).

Os Fundos de Vale possuem grande declividade ao longo do sistema de drenagem, há uma complexidade de depósitos e exposições rochosas, que formam erosões em sulcos evoluindo para ravinas e voçorocas, impróprias para a ocupação humana (NASCIMENTO, 1993; BRITO, 2011).

### **3.2. COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA**

As amostragens ocorreram de forma sazonal com o objetivo de descrever o comportamento dos corpos d'água ao longo dos períodos de estiagem e chuva. Conforme os dados de séries históricas das estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET instaladas na área de estudo, o período de estiagem compreende os meses de abril a setembro e o período chuvoso dos meses de outubro a março.

Foram coletadas e analisadas amostras no primeiro e segundo semestre do ano de 2015 (período chuva/seca), em 12 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns e em alguns dos seus principais tributários. Os pontos coletados, assim como suas coordenadas, estão descritos na Tabela 2 e ilustrados na Figura 7.

**Tabela 2 - Pontos de coleta de água amostrados em 2015.****Universal Transversa de Mercator - UTM, WGS84.**

<b>Amostra</b>	<b>Coordenadas UTM 22K</b>	<b>Elevação (m)</b>	<b>Referência de Localização</b>
<b>PRA01</b>	669368.00 - 8155027.00	795	Encontro das Nascentes do Anicuns
<b>PRA02</b>	672156.00 - 8156261.00	775	Ponte Conjunto Vera Cruz I
<b>PRA03</b>	675630.00 - 8154951.00	739	Pq. Industrial João Braz
<b>PRA04</b>	677325.00 - 8155092.00	733	Fim de quadra Bairro Goiá
<b>PRA05</b>	679121.00 - 8155721.00	721	Jardim Leblon, Avenida Macambira
<b>PRA06</b>	682342.00 - 8157799.00	713	Ponte Vila Clemente
<b>PRA07</b>	685026.00 - 8159184.00	707	Foz do Ribeirão Anicuns
<b>PNB08</b>	686305.00 - 8149902.00	835	Nascente Córrego Botafogo
<b>PNC09</b>	682539.00 - 8147872.00	829	Nascente Córrego Cascavel
<b>PNM10</b>	679120.00 - 8148495.00	827	Nascente Córrego Macambira
<b>PCC11</b>	676042.00 - 8148287.00	836	Encontro das Nascentes Córrego Capão Comprido
<b>PNS12</b>	671134.00 - 8150252.00	806	Nascente Córrego Salinas

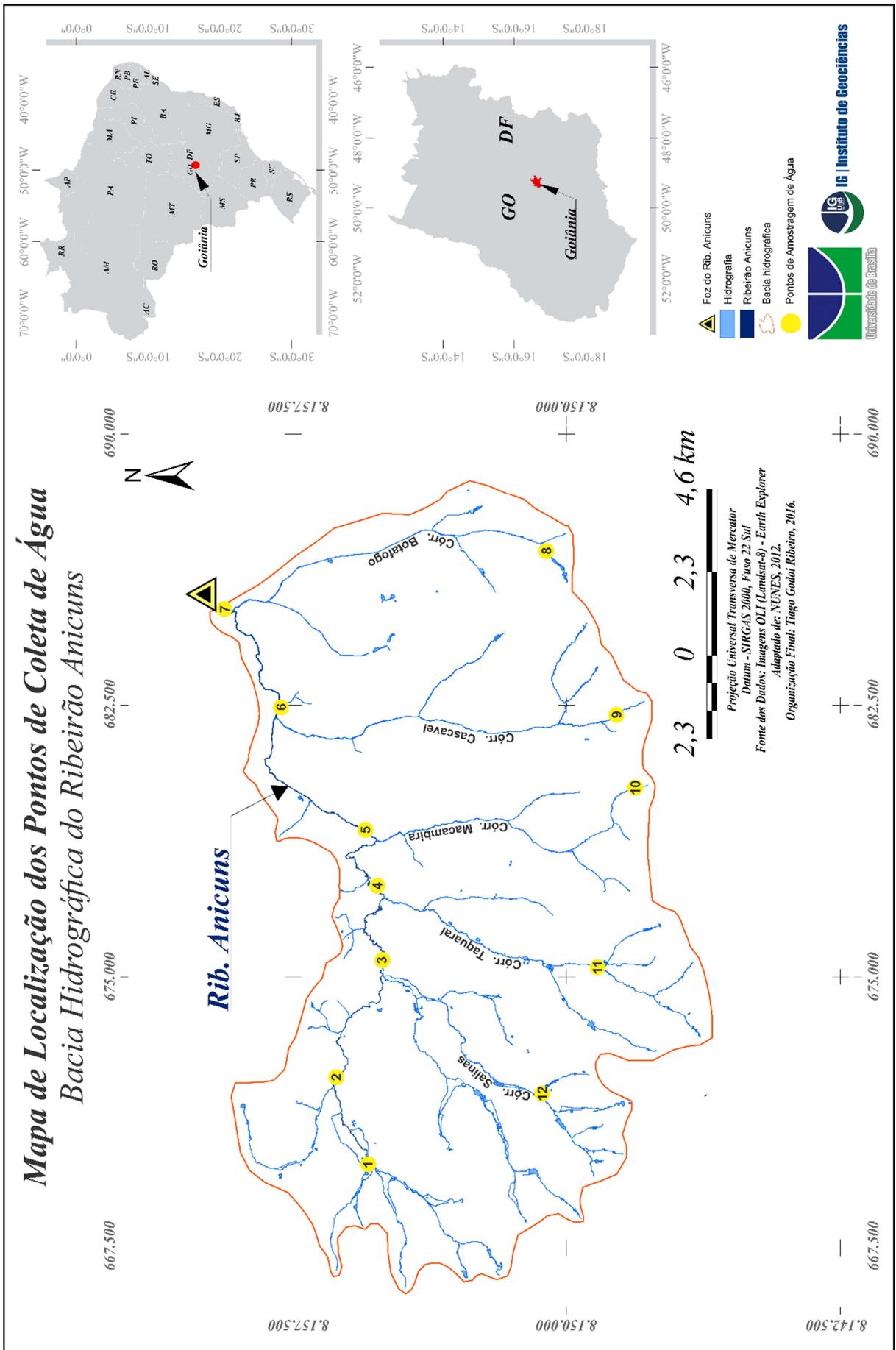


Figura 7 - Localização dos Pontos de Coleta de Água.

A escolha dos pontos de amostragem se deu a partir de fatores como a hidrografia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e viabilidade de acesso. O ponto PRA01 (Figura 8) foi coletado no encontro das nascentes do Ribeirão Macambira Anicuns, que está localizado em uma área com intensa atividade agrícola e de piscicultura.



**Figura 8 - Ponto de Coleta de água PRA01, junção das nascentes do Ribeirão Anicuns.**

O ponto PRA02 (Figura 9) foi coletado após o desague do primeiro tributário do Ribeirão Anicuns. Está localizado em um bairro (Conjunto Vera Cruz I) implantado pelo governo estadual, que possui toda infraestrutura de saneamento básico, mas nota-se lançamento de efluentes nas galerias de águas pluviais.



**Figura 9 - Lançamento de esgoto em galeria de água pluvial, que desagua no ponto de coleta de água PRA02, Ribeirão Anicuns.**

O ponto PRA03 (Figura 10) foi coletado após o desague do segundo tributário do Ribeirão Anicuns. Está localizado em uma área ocupada por chácaras e um frigorífico de abate de suínos.



**Figura 10 - Ponto de coleta de água PRA03.  
Lançamento de dejetos nas margens do Ribeirão Anicuns.**

O ponto PRA04 (Figura 11) foi coletado após a confluência do Córrego Capão Comprido com o Ribeirão Anicuns, no bairro Goiá, em uma área ocupada por chácaras e um bairro de apenas uma quadra.



**Figura 11 - Ausência de vegetação ciliar nas margens do Ribeirão Anicuns, ponto de coleta PRA04.**

O ponto PRA05 (Figura 12) foi coletado após o desague do Córrego Macambira no Ribeirão Anicuns, no bairro Jardim Leblon, em uma de médio adensamento populacional e pequenas atividades industriais.



**Figura 12 - Ponto de coleta de água PRA05.  
No detalhe resíduos lançados no corpo hídrico.**

O ponto PRA06 (Figura 13) foi coletado após o desague do Córrego Cascavel no Ribeirão Anicuns, na Vila Clemente, área de médio adensamento populacional e pequenas atividades industriais.



**Figura 13 - Ponto de coleta de água PRA06.**

**Nota-se a ausência de vegetação ciliar nativa nas margens do Ribeirão Anicuns.**

O PRA07 (Figura 14) está localizado em áreas de chácaras, entre a confluência do Córrego Botafogo com o Ribeirão Anicuns e a sua foz (Ribeirão Anicuns é um dos tributários do Rio Meia Ponte).



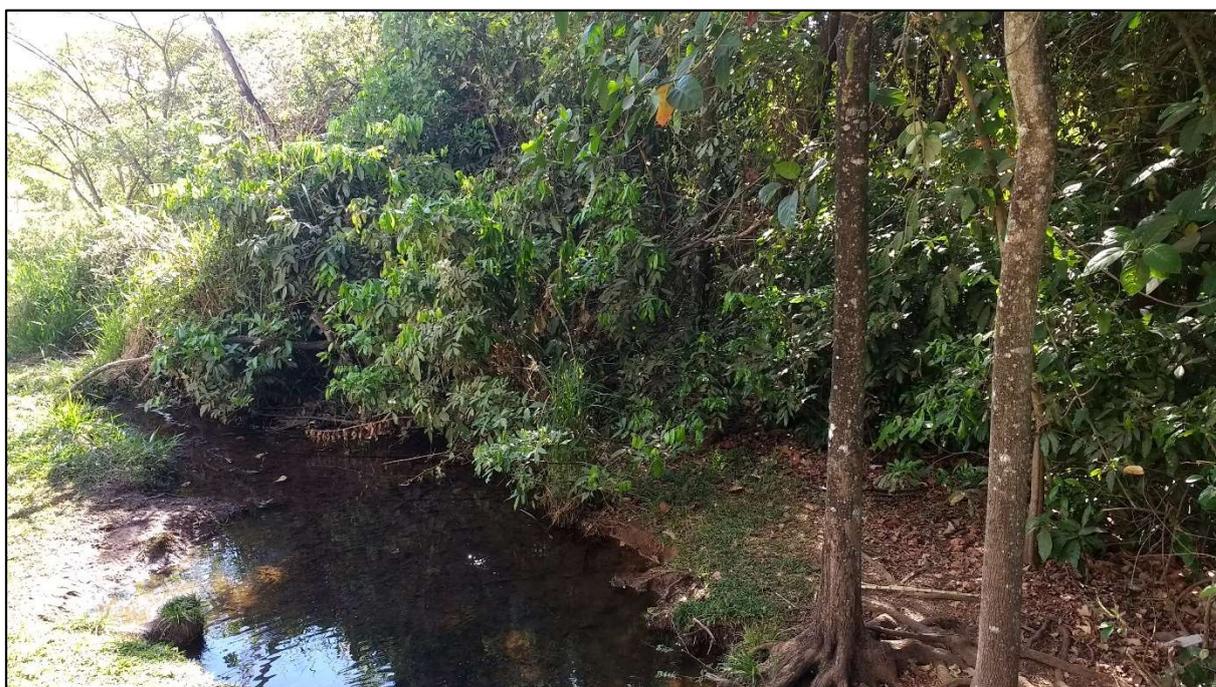
**Figura 14 - Ponto de coleta de água PRA07, foz do Ribeirão João Leite.**

O PNB08 (Figura 15) está localizado na nascente do Córrego Botafogo, dentro do Jardim Botânico de Goiânia.



**Figura 15 - Ponto de coleta de água PNB08, nascente do Córrego Botafogo.**

O PNC09 (Figura 16) está localizado no Parque Cascavel, amostra coletada em uma das nascentes do Córrego Cascavel.



**Figura 16 - Ponto de coleta de água PNC09, nascente do Córrego Cascavel.**

O PNM10 (Figura 17) está localizado em uma das nascentes do Córrego Macambira. Área que atualmente sofre intervenção para implantação do Parque Linear Macambira Anicuns.



**Figura 17 - Ponto de coleta de água PNM10, nascente do Córrego Macambira.**

O PCC11 (Figura 18) está localizado em área de adensamento urbano, na junção das nascentes do Córrego Capão Comprido. Verifica-se que a área está parcelada para fins urbanos e ausente de vegetação ciliar nativa.



**Figura 18 - Ponto de coleta de água PCC11, encontro das nascentes do Córrego Capão Comprido. Ausência de vegetação ciliar nativa, nas margens do Córrego Capão Comprido.**

O PNS12 (Figura 19) está localizado em uma das nascentes do Córrego Salinas, próximo a BR 060, no bairro Jardim das Rosas.



**Figura 19 - Ponto de coleta de água PNS12, nascente do Córrego Salinas.**

### **3.3. PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE**

Foi utilizada a metodologia aplicada ao Laboratório de Geoquímica - LAGEQ para realização dos procedimentos de amostragem. As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno de 1L previamente identificados, lavados com ácido nítrico 10% e com água obtida por sistema de purificação MilliQ (resistividade de 18,2 M $\Omega$  cm<sup>-1</sup> a 25 °C). No momento da coleta, foram ambientados com a mesma água da amostra coletada, e depois foram acondicionadas sob refrigeração em caixas térmicas até a chegada ao laboratório. O mais rápido possível, duas frações de 50 mL das amostras foram filtradas para dois frascos de centrífuga de 50 mL utilizando membranas em ésteres de celulose com poro de 0,45  $\mu$ m Milipore. Uma das frações foi acidificada com ácido nítrico suprapur® Merck até pH < 2 para análise de metais. A outra fração foi reservada para análise dos ânions e ambas foram refrigeradas a 4 °C.

As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, edição da *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e da *Water Pollution Control Federation (WPCF)*. O controle de qualidade, nas análises laboratoriais, foi realizado por amostra padrão de referência do laboratório, amostra de controle (branco) e o balanço iônico conforme Logan (1965). As curvas analíticas do IC foram preparadas com

soluções padrões de 1000 ppm da marca Vetec, a partir delas foram feitas as diluições necessárias para cada elemento.

Para avaliação dos resultados foi utilizado um método não paramétrico, já que os dados se apresentam dispersos, não pertencem a uma escala de medida padrão, porém, possuem uma ordenação. Os resultados obtidos com as determinações físico-químicas durante o período de 2015 foram tratados aplicando a correlação de Spearman (R), procedimento utilizado por Carmo et al (2005), Poudel et al (2013), Zhang, et al (2014).

### **3.3.1. Determinação dos Parâmetros Físico-Químicos**

O oxigênio dissolvido – OD foi determinado em campo utilizando um oxímetro (microprocessado OMC 900, marca SoilControl). O pH, a condutividade elétrica e o TDS foram determinados no LAGEQ utilizando um multiparâmetro da Hach, série Sension, calibrados com as respectivas soluções padrões.

A determinação do CO<sub>2</sub> livre se deu por meio de titulação com Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,04 N até pH 8,3 e indicador fenolftaleína, empregando o seguinte cálculo:

$$\text{CO}_2 \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = V_{\text{titulado}} \times 0,04 \times 22000 \times V_{\text{amostra}}^{-1}.$$

### **3.3.2. Determinação dos Ânions**

Os ânions fluoreto, cloreto, nitrato, fosfato e sulfato serão determinados por um aparelho de cromatografia iônica (IC) da marca Dionex modelo ICS90. Características do sistema utilizado: fluxo isocrático de eluente Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:NaHCO<sub>3</sub> 3,5:1 mM a 1,2 mL min<sup>-1</sup> e pressão aproximada de 1500 psi; volume de injeção de 25 µL definido por alça de amostragem; detector de condutividade suprimida modelo CS5; coluna e pré-coluna do tipo troca iônica com superfície funcionalizada de alquil amônio quaternário, modelos AS14A e AG14A, respectivamente; supressor de condutividade modelo AMMS-300 regenerado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50 mM.

A alcalinidade foi determinada por método titulométrico de análise com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N padronizado previamente com NaOH 0,05 N, utilizando um titulador automático da marca Schott, modelo Titroline easy.

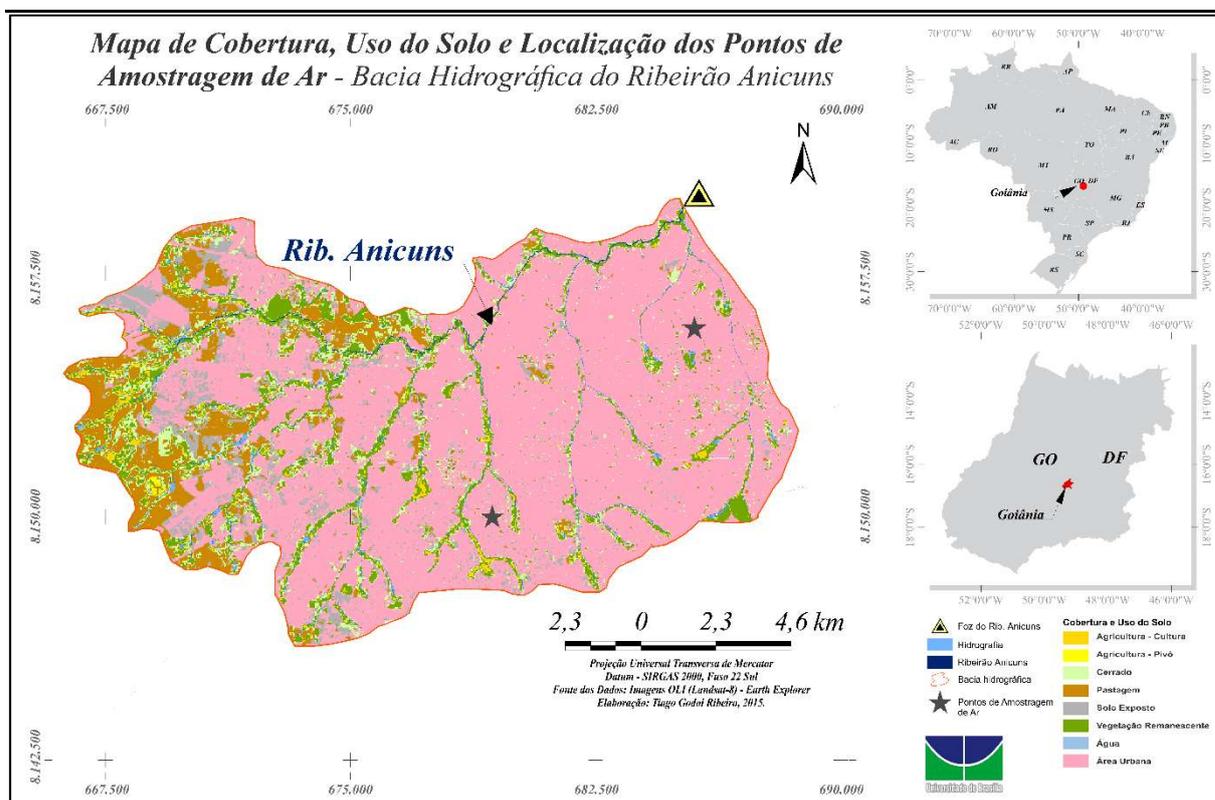
O íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) foi medido pelo método colorimétrico com leitura direta em um aparelho da Hach modelo DR2000 a 425 nm, utilizando kits de reação para amônia (Mineral Stabilizer, Alcool polivinílico e reagente de Nessler).

### 3.4. AMOSTRAGEM DE AR

Os pontos de amostragem foram definidos levando-se em consideração a área do município e a pressão antrópica. Para esta finalidade, foram estabelecidos dois locais de amostragem, distribuídos na bacia do Ribeirão Anicuns, em locais com grande tráfego de veículos. A localização dos pontos de monitoramento localdos na bacia do Ribeirão Anicuns são apresentados no quadro 2 e figura 20.

**Quadro 2 - Localização dos Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar.**

PONTO DE AMOSTRAGEM	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
1. Câmara Municipal de Goiânia, Praça do Trabalhador (Ponto GO 01)	Avenida Goiás esquina com Avenida Independência, nº 2001, Centro.	16°39'51" - 49°15'44"
2. Parque Amazônia (Ponto GO 02)	Avenida Feira de Santana, Praça da CEMACO.	16°43'52" – 49°16'20"



**Figura 20 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar.**

O micro sensor POD AQMesh foi instalado primeiramente em uma residência no Parque Amazônia (GO 02) e posteriormente na Câmara Municipal de Goiânia (GO 01). Os locais foram escolhidos por atenderem os requisitos necessários ao monitoramento da qualidade do ar, áreas adensadas, grande fluxo de veículos e pessoas, ausência de barreiras naturais e artificiais dos ventos, condições de segurança evitando o vandalismo e adulteração do

equipamento. Em cada ponto de amostragem foi instalado um suporte em metal na parede, a três metros de altura para fixação do equipamento.

A área de influência de monitoramento da unidade POD AQMesh depende de diversos fatores que podem influenciar no monitoramento, assim como nas estações de referência, como: distância das fontes de poluentes; altura do solo; elevação em relação ao nível do mar (Pressão Atmosférica); relevo; presença ou não de grandes construções próximas (efeito cânion); quadro sinótico da região - Condição dos ventos (POSTEC, 2015).

### 3.4.1. Método de Medição

Para determinação dos níveis de poluição atmosférica na bacia do Ribeirão Anicuns em Goiânia, foi utilizado um método indicativo. As amostragens foram realizadas através do equipamento, denominado POD, fabricado pela AQMesh, tem capacidade de analisar quatro tipos de gases atmosféricos, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e três padrões atmosféricos (quadro 3). Os parâmetros de qualidade do ar monitorados são: dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), temperatura (°C), pressão atmosférica (mBar) e umidade relativa do ar (%).

Os gases são medidos utilizando sensores eletroquímicos, que permitem compensação por fatores ambientais com sensibilidade à 5ppb. Já as Partículas Totais em Suspensão são medidas utilizando um sensor ótico que se baseia no espalhamento da luz pelas partículas e na detecção deste espalhamento, para sua mensuração.

O equipamento, para produzir maior precisão possível de aferição, descarta os 4 (quatro) primeiros dias de amostragem, período que ocorre a estabilização da unidade de acordo com as condições atmosféricas da região, após esses 4 dias, a série de dados é extraída remotamente, via comunicação do sistema online.

**Quadro 3 – Dados Técnicos de Funcionamento do POD fabricado pela AQMesh.**

Equip.	Parâmetro	Modelo do Sensor	Tipo de Sensor	Faixa de Detecção
POD	SO <sub>2</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-4000 ppb
	NO <sub>2</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-4000 ppb
	O <sub>3</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-1800 ppb
	CO	Alphasense B4	Eletroquímico	0-6000 ppb
	PTS	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-1000 µg/m <sup>3</sup>
	MP <sub>10</sub>	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-1000 µg/m <sup>3</sup>
	MP <sub>2,5</sub>	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-500 µg/m <sup>3</sup>
	Temperatura	Sensirion SHT21	Estado sólido	-20 a 100 ° C
	Pressão atmosférica	Freescale MPL115A1	Estado sólido	500-1500 mb
	Umidade relativa	Sensirion SHT21	Estado sólido	0-100% RH

### 3.4.2. Determinação da Qualidade do Ar da bacia do Ribeirão Anicuns

A determinação da qualidade do ar, se deu a partir da aplicação da metodologia do IQAr/EPA (EPA, 2014). O IQAr é uma ferramenta cujo objetivo principal é proporcionar melhor compreensão, entendimento e facilitando a divulgação sobre a qualidade do ar local especialmente ao público leigo.

O IQAr é obtido através de uma função linear segmentada. Os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar e os critérios para episódios agudos de poluição são estabelecidos conforme a Resolução CONAMA nº 03/1990. A relação da concentração do poluente com o valor do índice, resulta em um número adimensional referido a uma escala baseada nos padrões de qualidade do ar, indicando assim os níveis de poluição, e como estes influenciam na qualidade do ar e na saúde da população (tabela 3 e quadro 4).

**Tabela 3 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr. Adaptado: EPA (2014).**

ESTRUTURA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR								
QUALID.	ÍNDICE	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h
Boa	1	0-80	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
Moderada	0,75	81-240	51-100	26-50	101-130	10-11	201-240	21-40
Ruim	0,5	241-374	101-150	51-75	131-160	12-13	241-320	41-365
Muito ruim	0,25	375-624	151-250	76-125	161-200	14-15	321-1130	366-800
Péssima	0	≥ 625	≥ 251	≥ 126	≥ 201	≥ 16	≥ 1131	≥ 801

**Quadro 4 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Implicações Gerais à Saúde da População  
Adaptado: EPA (2014).**

QUALIDADE DO AR E EFEITOS À SAÚDE		
QUALIDADE	ÍNDICE	SIGNIFICADO
Boa	1	Praticamente não há riscos à saúde.
Moderada	0,75	Pessoas de grupos sensíveis* podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Ruim	0,5	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis* podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito ruim	0,25	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta, falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis*.
Péssima	0	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis*.

\* *Grupos sensíveis: crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.*

### 3.5. AMOSTRAGEM DE SOLO

#### 3.5.1. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem

Foram coletadas e analisadas amostras no horizonte A, no primeiro semestre do ano de 2017, em 16 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns, determinados pelos tipos de solo presentes na bacia (Figura 22 e Quadro 5). Para cada tipo de solo foram coletadas duas amostras, uma em ambiente natural (valores de *background*) e outra em um ambiente alterado (parques urbanos, lotes baldios).

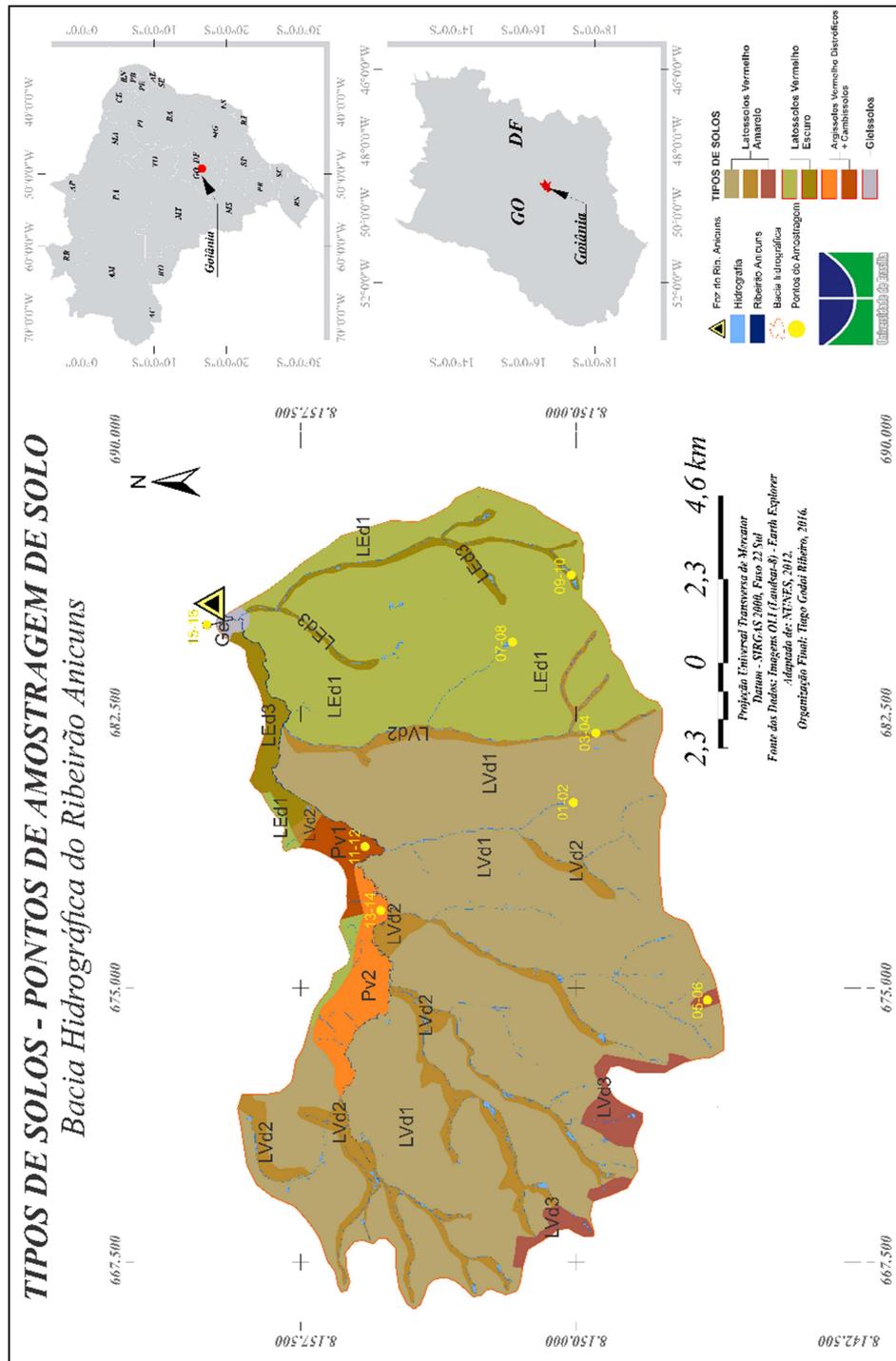


Figura 22 – Pontos de amostragem de Solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.

**Quadro 5 - Pontos de Amostragem de Solo, Bacia do Ribeirão Anicuns.**

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Tipo de Amostra</b>	<b>Coordenadas UTM 22K</b>	<b>Referência de Localização</b>	
Latosolos Vermelho Amarelo	LVd1	1	Natural	680048-8150330	Mata Florêça
		2	Antropizado	679943-8150414	Jardins Florêça
	LVd2	3	Natural	681817-8148774	Parque Cascavel
		4	Antropizado	681712-8148989	Condomínios Cascavel
	LVd3	5	Natural	673990-8146193	Mata Setor Cristina
		6	Antropizado	673882-8146141	Setor Cristina
Latosolos Vermelho Escuro	LEd1	7	Natural	684447-8151750	Parque Vaca brava
		8	Antropizado	684477-8151904	Setor Bueno
	LEd3	9	Natural	686475-81502229	Jardim Botânico
		10	Antropizado	686369-8150378	Jardim Esmeralda
Argissolos Vermelho Distróficos + Cambissolos	PV1	11	Natural	679213-8156095	Mata Jardim Leblon
		12	Antropizado	679089-8156147	Jardim Leblon
	PV2	13	Natural	677067-8155095	Mata Quadra Isolada
		14	Antropizado	677354-8154881	Quadra Isolada
Gleissolos	Ge	15	Natural	685094-8159251	Mata Foz Anicuns
		16	Antropizado	685278-8159255	Fazenda Foz Anicuns

### **3.5.2. Determinações em Laboratório de Solos**

As determinações dos parâmetros físicos e orgânicos foram realizadas pela Solocria Laboratório Agropecuário Ltda. As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros foram baseadas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997) e Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 2009). A Solocria participa dos programas de controle de qualidade de análises de solo promovidos, respectivamente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/SOLOS) e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

### **3.5.3. Escolha dos Indicadores de Qualidade do Solo**

Os indicadores escolhidos, conforme quadro 6, foram selecionados a partir das diretrizes para avaliação, planejamento e conservação da qualidade do solo, propostas pela USDA (2001). O teste aplicado tem como objetivo avaliar a capacidade do solo de garantir o funcionamento dos ecossistemas em diferentes paisagens.

### Quadro 6 - Classificação dos Indicadores de Qualidade do Solo.

PARAMETROS DETERMINADOS POR AMOSTRAS DE SOLO	
FÍSICOS	Textura, densidade aparente, densidade real, porosidade, CTC.
ORGÂNICOS	Matéria orgânica, carbono ativo, nitrogênio potencialmente mineralizável.

#### 3.5.4. Índice de Qualidade do Solo (IQS)

A determinação da qualidade do solo se deu a partir da aplicação do IQS<sub>1</sub> proposto por Islan & Weil (2000). Para aplicação desse modelo foram consideradas as seguintes premissas básicas: por representar as condições ecológicas de equilíbrio ambiental, áreas naturais com mínima intervenção antrópica foram utilizadas como unidade de referência; parâmetros físicos e orgânicos possuem mesma ponderação; para cada categoria de atributos (físicos e orgânicos), os parâmetros apresentam a mesma importância relativa (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Islan & Weil (2000) avaliaram as mudanças de uso da terra em ecossistemas de floresta tropical, aplicando e modificando o índice de deterioração do solo (IDS), proposto anteriormente por Adejuwon e Ekanade (1988). Os autores partiram do princípio de que o status das propriedades individuais do solo sob plantios florestais e pastagem eram os mesmos para aqueles solos adjacentes sob floresta nativa, anterior ao processo de conversão. As diferenças entre as propriedades dos solos sob pastagem, comparadas à linha-base das propriedades do solo sob vegetação nativa, foram calculadas e expressas como a porcentagem da média dos valores individuais de cada propriedade a fim de compor o índice de deterioração do solo (IDS). (ISLAN & WEIL, 2000)

O índice IQS<sub>1</sub> foi calculado a partir das diferenças entre os parâmetros do solo das áreas a serem avaliadas, comparadas à linha base dos parâmetros das respectivas áreas de referência, sendo expressas como os desvios médios dos valores individuais de cada parâmetro. A média geral dos desvios de cada parâmetro do solo representa a sua deterioração em relação à referência. Para as amostras consideradas referenciais, foi atribuído o valor 1,0 para a qualidade do solo e sua diferença em relação à deterioração do solo nos outros pontos amostrados constitui o índice de qualidade do solo (IQS<sub>1</sub>) (FREITAS *et al.*, 2012).

O cálculo do IQS<sub>1</sub> ocorreu em duas etapas, conforme as equações 1 e 2.

$$Q_A = \frac{\left(\frac{w_1-k_1}{k_1}\right) + \left(\frac{w_2-k_2}{k_2}\right) + \left(\frac{w_3-k_3}{k_3}\right) + \left(\frac{wn-k}{kn}\right)}{n} \quad (1)$$

$$IQS_1 = 1 - \left(\frac{Q_{af} + Q_{ao}}{2}\right) \quad (2)$$

Onde:  $Q_A$  representa os desvios médios dos indicadores de cada parâmetro em relação ao parâmetro referencial;  $w$  é o valor do indicador medido nas áreas em estudo;  $k$  é o valor do indicador medido na amostra de referência;  $n$  refere-se ao número de indicadores que compõem cada conjunto de parâmetros;  $Q_{af}$  é a média dos desvios dos parâmetros físicos do solo;  $Q_{ao}$  é a média dos desvios dos parâmetros orgânicos do solo.

### 3.6. MODELO DE INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE (IQAmb)

A dificuldade de compreender o funcionamento do sistema que se deseja modelar, é o primeiro obstáculo a ser superado, para isso há necessidade de dados que sejam satisfatórios para responder as questões impostas pelo próprio modelo (TEZA, 2016).

Diversos estudos buscam a integração entre dados heterogêneos das análises ambientais. Normalmente esses modelos são elaborados para aplicações específicas sem a utilização de valores precisos. (DAGNINO *et al.*, 2008; SEMENZIN *et al.*, 2008; LINKOV *et al.*, 2009; BENEDETTI *et al* 2011; TEZA, 2016; PIMENTA, 2016).

O modelo proposto sintetiza três índices ambientais, para formação do índice de qualidade ambiental (IQAmb), fundamentado na clara definição de indicadores geoquímicos da qualidade da água, do ar e do solo.

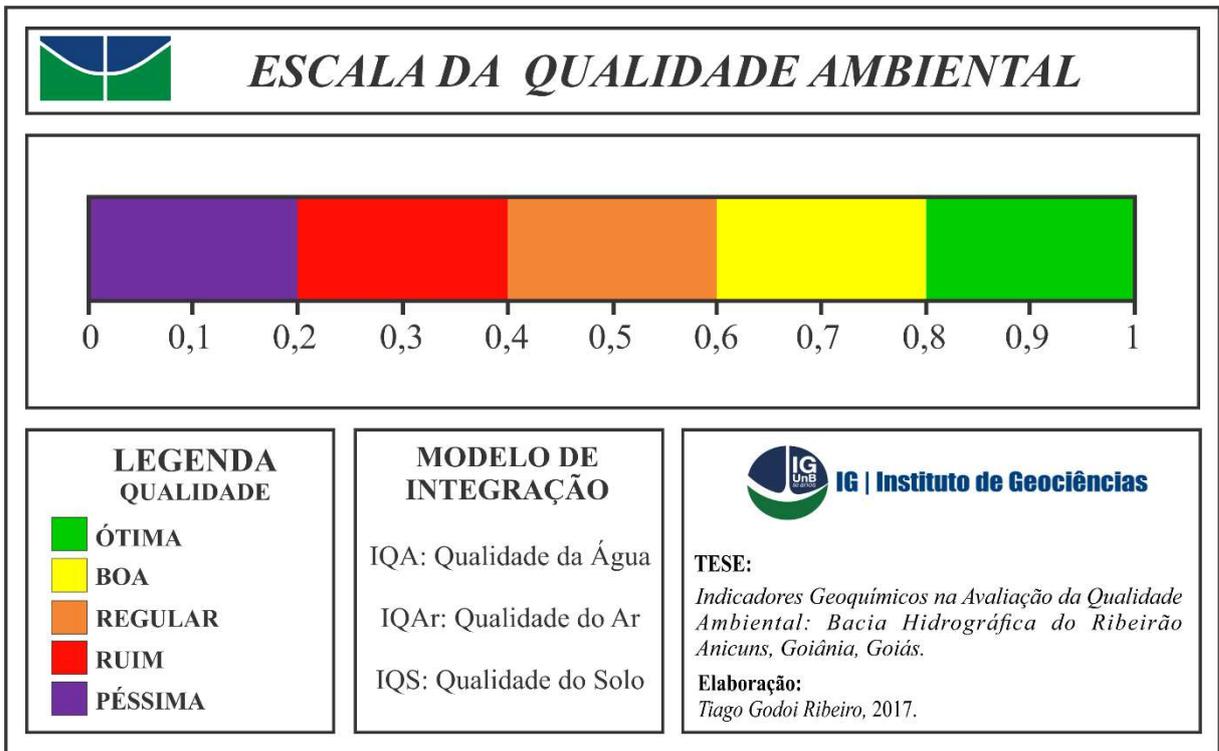
Para a integração dos índices geoquímicos selecionados e formação do IQAmb, os valores encontrados foram convertidos em uma escala única de valores. A escala tem variação de 0 a 1, representando, respectivamente, o pior e o melhor valor de qualidade ambiental para cada indicador (RIBEIRO, 2013).

O IQAmb foi calculado a partir do produto dos índices geoquímicos selecionados (IQA, IQAr e IQS), elevado ao número de indicadores (3), expresso pela equação 3:

$$IQAmb = \sqrt[3]{IQA.IQAr.IQS} \quad (3)$$

Onde,  $IQA$  é o resultado da aplicação do índice de qualidade da água,  $IQAr$  é o resultado da aplicação do índice de qualidade do Ar e o  $IQS$  é o valor encontrado para a qualidade do solo.

A classificação final das condições ambientais da área estudada é representada graficamente em uma escala (figura 39) que integra os três índices (IQA, IQAr e IQS), permitindo melhor compreensão do resultado encontrado para o IQAmb.



**Figura 23 - Escala da Qualidade Ambiental.**

## CAPÍTULO 4 – ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS POR MEIO DA CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS<sup>6</sup>

TIAGO GODOI RIBEIRO<sup>7</sup>

GERALDO RESENDE BOAVENTURA<sup>8</sup>

LUCIANO SOARES DA CUNHA<sup>9</sup>

SANDRO MORAIS PIMENTA<sup>10</sup>

### RESUMO

Foi empregado a correlação de Spearman, um método não paramétrico, para dados dispersos que não pertencem a uma escala de medida padrão, porém possuem uma ordenação, com o objetivo de identificar os parâmetros determinantes da qualidade da água na bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, GO. Duas campanhas de coleta foram realizadas no ano de 2015, nos períodos de chuva e estiagem, em 12 pontos de amostragem. Foram determinados os parâmetros temperatura, cor, turbidez, pH, totais de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade, amônia, sulfato, fosfato, nitrato, cloreto e fluoreto. A análise não paramétrica de Spearman, ajudou na compreensão e identificação das correlações entre os parâmetros físico-químicos, ratificando os resultados encontrados e sua relação com o processo de uso do solo. Foram constatadas diversas alterações antrópicas, decorrentes da falta aplicação do planejamento urbanístico, socioeconômico, ambiental, hoje previstos no Plano Diretor do município de Goiânia. Os parâmetros determinados durante o período de 2015 demonstram a variação da qualidade da água na bacia do ribeirão Anicuns, indicando a influência direta das atividades antrópicas.

**Palavras-chave:** Qualidade da Água, Parâmetros Físico-Químicos, Correlação.

### ABSTRACT

*It was used Spearman, a nonparametric method for scattered data that do not belong to a standard measurement scale, but have an order, in order to identify the relevant parameters of water quality in Ribeirão basin Anicuns, Goiânia, GO. Two sampling campaigns were carried out in 2015, during the rainy and dry seasons, in 12 sampling points. Were determined parameters temperature, color, turbidity, pH, total dissolved solids, conductivity, dissolved oxygen, alkalinity, ammonia, sulfate, phosphate, nitrate, chloride and fluoride. The analysis nonparametric Spearman, helped in understanding and identifying the correlations between the physicochemical parameters, confirming the results and their relationship with the land use process. various anthropogenic changes were observed, resulting from the lack implementation of urban, socio-economic, environmental planning, today set out in the Master Plan of the city of Goiania. The parameters determined during the 2015 period shows the change in water quality in Anicuns stream basin, indicating the direct influence of human activities.*

**Keywords:** *Water Quality, Physical-chemical parameters, Correlation.*

<sup>6</sup> Artigo publicado na Revista Geochimica Brasiliensis. ISSN 2358-2812. DOI 10.21715/GB2358-2812.2016301084

<sup>7</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Aparecida de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Doutorando pelo Instituto de Geociências - IG, da Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. [godoiribeiro@gmail.com](mailto:godoiribeiro@gmail.com).

<sup>8</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>9</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>10</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Goiânia, Goiânia, Goiás, Brasil.

## 4.1. INTRODUÇÃO

A qualidade das águas superficiais é determinada pelo conjunto de características químicas, físicas e biológicas do corpo hídrico. Está diretamente ligada aos processos naturais (cobertura vegetal, intemperismo, intensidade das precipitações) e à ação antrópica (agricultura, atividade industrial, ocupação urbana) (Andrade et al. 2007, ALMEIDA et al. 2001, INEA 2016).

Avaliar a qualidade das águas superficiais se torna importante elemento no diagnóstico da bacia hidrográfica, atua como um parâmetro indicador dos impactos do uso e ocupação do solo (Pimenta et al. 2009, Moura 2010, Jardim 2011).

A Política Nacional de Recursos Hídricos em seus objetivos define a importância da qualidade da água, para garantir à atual e às futuras gerações, disponibilidade de água, em condições apropriadas aos respectivos usos (Brasil 1997).

Informações sobre a qualidade da água no país ainda são insuficientes ou inexistentes em várias bacias. Apenas nove unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons, cinco possuem sistemas bons, e treze apresentam sistemas fracos (ANA 2005).

As águas superficiais são grande foco de diversas pesquisas destinadas a analisar a qualidade da água, uma vez são importantes fontes de abastecimento para população, indústrias, agricultura, recreação e paisagismo (Jardim 2011, Moura 2010, Peixoto 2003).

Para avaliação da qualidade da água o uso de indicadores vem sendo discutidos e amadurecidos desde meados da década de 60. Tais indicadores foram inicialmente baseados na construção de curvas de qualidade e agregação ponderada de parâmetros selecionados, sendo aplicados em diversos lugares no mundo (Brown 1970 *apud* Mulholland 2009).

A avaliação da qualidade de água acaba se tornando complexa e onerosa, pois envolve uma grande quantidade de variáveis. Um dos métodos usados na formulação de índices de qualidade de água se baseia na técnica multivariada da análise fatorial, que representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros (Moura 2010, Mulholland et al. 2010, Hair et al. 2009).

Este estudo objetiva avaliar a qualidade da água, na bacia do Ribeirão Anicuns, na cidade de Goiânia, durante os períodos chuvoso e seco de 2015. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio da correlação de Spearman (R).

## 4.2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, possui cerca de 1.400.000 habitantes, sendo a capital estadual mais próxima à capital federal. Seu território possui 733,116 km<sup>2</sup>, situa-se na mesorregião do Centro Goiano e na Microrregião de Goiânia (IBGE 2016).

Possui geomorfologia contínua, com poucos morros e baixadas, apresentando terras planas na maior parte de seu território. Em sua hidrografia destacam-se o Rio Meia Ponte e o Ribeirão Anicuns, seu principal afluente no território municipal (Casseti 1992).

O substrato rochoso da bacia é formado por rochas do Neoproterozoico, representadas pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, pelo Grupo Araxá-Sul de Goiás e por Depósitos Aluvionares do Quaternário (Lacerda Filho 2000).

A Bacia do Ribeirão Anicuns (Figura 24), possui uma área de drenagem de aproximadamente 199 km<sup>2</sup>, com comprimento total do curso d'água de 24 km. O Ribeirão Anicuns nasce na divisa dos municípios de Goiânia e Trindade, próximo ao Parque Eldorado Oeste, e sua nascente é formada pelos Córregos Forquilha e Quebra Anzol. O Ribeirão Anicuns tem, como principais afluentes pela margem direita, os córregos: Cavalo Morto, Taquaral, Macambira, Cascavel e Botafogo; e, pela margem esquerda, os córregos: da Cruz e Samambaia. Sua foz na margem direita do Rio Meia Ponte (ITCO, 2008).

Estima-se que 70% da população da capital estejam ocupando a bacia do Ribeirão Anicuns, perfazendo aproximadamente um milhão habitantes nessa localidade. Essa bacia apresenta problemas comuns a cursos d'água urbanos, tais como a deterioração da qualidade da água, enchentes, erosões e assoreamentos (ITCO, 2008).

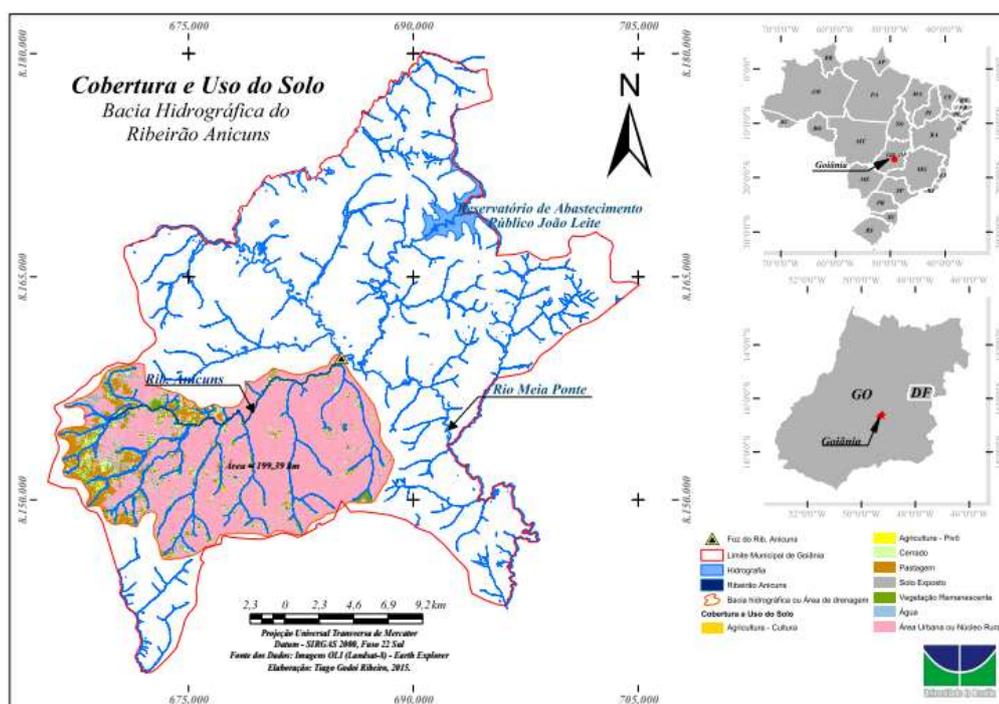


Figura 24 - Cobertura e Uso do Solo no Ribeirão Anicuns, Goiânia - GO.

### 4.3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.3.1. Coleta e Identificação dos Pontos

As amostragens ocorreram de forma sazonal com o objetivo de descrever o comportamento dos corpos d'água ao longo dos períodos de estiagem e chuva. Conforme os dados de séries históricas das estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET instaladas na área de estudo, o período de estiagem compreende os meses de abril a setembro e o período chuvoso dos meses de outubro a março.

Foram coletadas e analisadas amostras no primeiro e segundo semestre do ano de 2015 (período chuva/seca), em 12 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns e em alguns dos seus principais tributários. Os pontos coletados, assim como suas coordenadas, estão descritos na Tabela 4 e ilustrados na Figura 25.

**Tabela 4 - Pontos de coleta de água amostrados no primeiro semestre de 2015.**  
**Universal Transversa de Mercator - UTM, WGS84.**

<b>Amostra</b>	<b>Coordenadas UTM 22K</b>	<b>Elevação (m)</b>	<b>Referência de Localização</b>
<b>P01</b>	669368.00 - 8155027.00	795	Encontro das Nascentes do Anicuns
<b>P02</b>	672156.00 - 8156261.00	775	Ponte Conjunto Vera Cruz I
<b>P03</b>	675630.00 - 8154951.00	739	Pq. Industrial João Braz
<b>P04</b>	677325.00 - 8155092.00	733	Fim de quadra Bairro Goiá
<b>P05</b>	679121.00 - 8155721.00	721	Jardim Leblon, Avenida Macambira
<b>P06</b>	682342.00 - 8157799.00	713	Ponte Vila Clemente
<b>P07</b>	685026.00 - 8159184.00	707	Foz do Ribeirão Anicuns
<b>P08</b>	686305.00 - 8149902.00	835	Nascente Córrego Botafogo
<b>P09</b>	682539.00 - 8147872.00	829	Nascente Córrego Cascavel
<b>P10</b>	679120.00 - 8148495.00	827	Nascente Córrego Macambira
<b>P11</b>	676042.00 - 8148287.00	836	Encontro das Nascentes Córrego Capão Comprido
<b>P12</b>	671134.00 - 8150252.00	806	Nascente Córrego Salinas

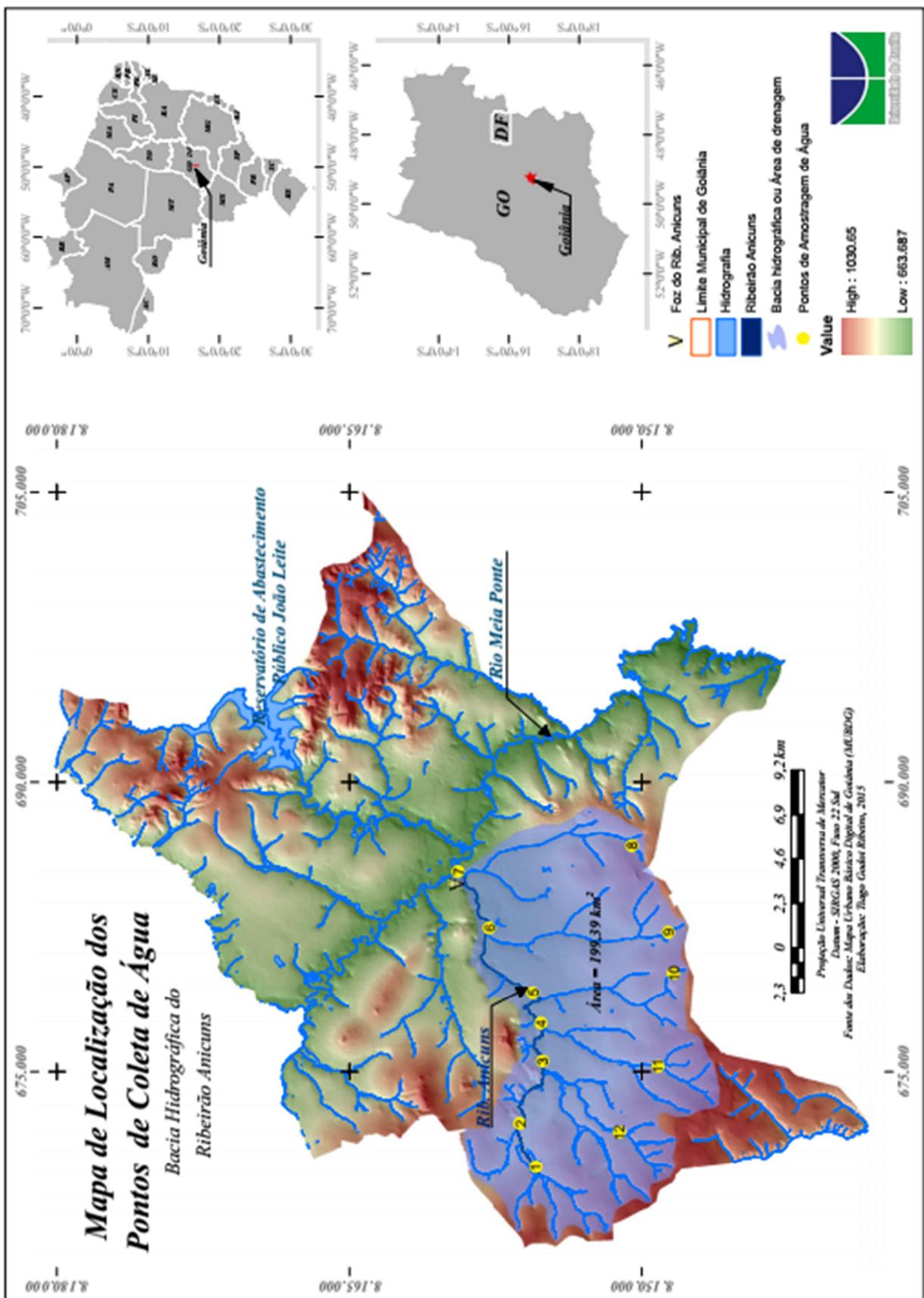


Figura 25 - Disposição espacial dos pontos de coleta de água.

### 4.3.2. Determinações em Campo e Laboratório

Nos 12 pontos de amostragem foram realizadas em campo as determinações de pH, Temperatura, Condutividade Elétrica e Totais de Sólidos Dissolvidos, utilizando um multiparâmetro portátil (Hach, série Sension 378) e Oxigênio Dissolvido por meio de Oxímetro Microprocessado portátil (modelo OMC-900). Para a coleta das amostras de água foram utilizados frascos de polietileno de 1L previamente identificados, lavados com ácido nítrico 10% v/v e com água obtida por sistema de purificação MilliQ (resistividade de 18,2 MΩ cm<sup>-1</sup> a 25 °C). No momento da coleta, foram ambientados com a mesma água da amostra e acondicionadas sob refrigeração em caixas térmicas até a chegada nos Laboratório de Geoquímica da UnB e Laboratórios do Instituto Federal de Goiás. Turbidez; Cor e NH<sub>3</sub> foram determinados por técnicas colorimétricas com leitura em espectrofotômetro (Hach modelo DR 2000).

As amostras de água coletadas foram divididas em duas frações de 50 mL filtradas para dois frascos de centrífuga de 50 mL utilizando membranas em ésteres de celulose com poro de 0,45 μm Milipore. Uma das frações foi acidificada com ácido nítrico suprapur Merck até pH < 2 para futura determinação de metais. A outra fração foi reservada para determinação dos ânions.

Os ânions: F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> foram determinados por cromatógrafo iônico (IC) com condutividade suprimida da marca Dionex, modelo ICS90. A alcalinidade foi determinada por método titulométrico com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N padronizado com NaOH 0,05 N, utilizando um titulador automático da marca Schott, modelo Titroline Easy.

As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, edição da *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e da *Water Pollution Control Federation (WPCF)*. O controle de qualidade, nas análises laboratoriais, foi realizado por amostra padrão de referência do laboratório, amostra de controle (branco) e o balanço iônico conforme Logan (1965). As curvas analíticas do IC foram preparadas com soluções padrões de 1000 ppm da marca Vetec, a partir delas foram feitas as diluições necessárias para cada elemento.

Para avaliação dos resultados foi utilizado um método não paramétrico, já que os dados se apresentam dispersos, não pertencem a uma escala de medida padrão, porém, possuem uma ordenação. Os resultados obtidos com as determinações físico-químicas durante o período de 2015 foram tratados aplicando a correlação de Spearman (R), procedimento utilizado por Carmo et al. (2005), Poudel et al. (2013), Zhang, et al. (2014).

## 4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1. Resultados das Determinações Físico-químicas

Foram utilizados 14 parâmetros para as determinações físico-químicas, amostrados em 12 pontos do Ribeirão Anicuns e seus afluentes. Os resultados dos parâmetros físico-químicos da primeira e segunda campanha de coleta são apresentados na tabela 5.

**Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos períodos chuva/seca, Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO.**

BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS, GOIÂNIA-GO.												
PONTOS DE AMOSTRAGEM – PERÍODO CHUVOSO												
Parâmetros (unidades)	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12
Temperatura (°C)	21,90	22,10	22,10	23,70	24,20	24,60	23,50	25,30	24,00	21,60	23,30	24,90
Cor (uH)	12,00	14,00	15,00	24,00	29,00	53,00	25,00	<LD	3,00	10,00	13,00	21,00
Turbidez (NTU)	22,00	26,00	28,00	44,00	55,00	118,00*	46,00	1,00	7,00	19,00	25,00	57,00
pH	5,50	5,80	5,87	6,08	6,03	6,27	6,19	4,81*	5,76	5,63	6,01	6,23
T.S.D (mg/L)	7,40	27,90	27,80	30,40	47,00	72,60	80,60	14,80	25,30	5,90	28,20	21,30
C.E (ms/cm)	16,55	59,40	59,10	64,60	99,00	152,20	168,80	32,10	53,90	13,33	59,90	39,80
O. D (mg/L)	6,50	6,80	6,70	6,40	5,80*	5,30*	5,70*	6,60	5,20*	5,90*	6,90	7,90
Alcalinidade - HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (mg/L)	5,00	13,00	14,00	14,00	19,00	26,00	28,00	2,00	8,00	4,00	15,00	19,00
Amônia - NH <sub>3</sub> (mg/L)	0,22	0,38	0,23	0,42	1,26	2,08	1,53	<LD	<LD	0,14	0,44	0,85
Sulfato - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0,50	1,10	1,43	1,86	4,98	7,44	6,77	0,36	0,46	0,00	0,81	0,20
Fosfato - PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	<LD	<LD	<LD	0,20*	0,32*	0,63*	0,35*	0,05*	0,01	0,01	<LD	<LD
Nitrato - NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (mg/L)	<LD	1,16	1,97	2,76	4,27	9,08	15,49*	8,42	11,69*	<LD	3,33	<LD
Cloreto - Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0,86	3,81	2,70	2,80	4,57	8,64	10,78	2,22	4,40	0,52	1,45	0,89
Fluoreto - F <sup>-</sup> (mg/L)	0,04	0,05	0,06	0,06	0,10	0,09	0,12	0,04	0,05	0,10	0,07	0,07
PONTOS DE AMOSTRAGEM - PERÍODO SECO												
Temperatura (°C)	27,10	30,00	28,00	28,80	30,30	29,90	29,40	28,50	28,60	29,60	32,00	32,00
Cor (uH)	11,00	8,00	7,00	5,00	18,00	9,00	5,00	<LD	2,00	<LD	4,00	16,00
Turbidez (NTU)	19,00	16,00	15,00	15,00	33,00	17,00	10,00	<LD	6,00	<LD	8,00	31,00
pH	5,31*	6,37	6,40	6,31	6,77	6,40	6,62	5,21*	5,66*	5,52*	5,91*	6,91
T.S.D (mg/L)	5,80	41,30	34,30	34,50	68,00	60,50	66,80	9,60	7,20	17,50	22,40	13,20
C.E (ms/cm)	13,30	87,30	72,70	73,20	142,70	127,00	140,30	21,20	16,24	37,70	47,90	28,80
O. D (mg/L)	6,00	4,00*	8,90	8,70	1,70*	2,70*	3,10*	8,40	8,40	9,70	6,80	7,70
Alcalinidade - HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (mg/L)	1,00	4,00	3,00	3,00	7,00	9,00	17,00	1,00	2,00	3,00	4,00	12,00
Amônia - NH <sub>3</sub> (mg/L)	0,25	0,92	0,49	0,55	8,60*	5,20*	7,00*	0,07	0,06	<LD	0,76	0,25
Sulfato - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	<LD	4,23	2,87	3,25	7,86	6,16	6,35	0,35	0,34	0,72	1,97	0,99
Fosfato - PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,22*	0,24*	<LD	<LD	1,27*	0,89*	0,72*	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Nitrato - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	<LD	0,51	5,02	5,18	<LD	3,53	5,85	7,46	0,66	13,88*	1,39	<LD
Cloreto - Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0,95	10,66	7,89	7,62	16,14	12,25	14,02	2,13	1,49	2,41	2,05	1,46
Fluoreto - F <sup>-</sup> (mg/L)	<LD	<LD	0,09	0,07	0,18	0,13	<LD	0,05	0,04	0,04	0,13	0,06

Obs.: Resultados abaixo do limite de detecção (<LD); NTU= *Nephelometric Turbidity Unity* (unidade nefelométrica de turbidez); uH= unidade Hazen; (\*) – valores fora do estabelecido pela CONAMA 357/2005, corpos de água doce classe 02.

A temperatura no período chuvoso variou de 21,6 a 25,3°C, e no período de estiagem a variação foi de 27,1 a 32°C. Para sete pontos amostrados no Ribeirão Anicuns, a temperatura aumentou sucessivamente à medida que os pontos de coleta se distanciavam de suas nascentes. A conservação da vegetação ciliar é a maneira mais eficaz de prevenir aumento da temperatura da água (Donadio et al. 2005, Swift & Messer 1971 e Sugimoto et al. 1997).

O transporte de material sólido para o leito do Ribeirão Anicuns, fica evidenciado pelos resultados de turbidez. Nas épocas de seca e chuva a turbidez apresentou variação média de 14 e 37 NTU, respectivamente, com tendência a aumentar na época chuvosa.

Os Totais de Sólidos Dissolvidos (TSD) variou de 5,9 a 80,6 (chuva) e 5,8 a 68,0 (seca) e a condutividade elétrica (CE) apresentou variação de 13,33 a 168,80 (chuva) e 13,3 a 142,7 (seca). Ao longo da amostragem foi verificado uma evolução nos valores dos TSD e CE, justificando-se, pois, esses parâmetros são diretamente proporcionais e cumulativos.

O Ribeirão Anicuns e seus afluentes apresentaram pH levemente ácido a neutro. A variação de pH foi de 4,8 a 6,9, apresentando média de 6,1 na época seca e 5,8 na chuvosa. Em 6 pontos amostrados no período chuvoso e em 05 pontos do período de estiagem, os resultados ficaram abaixo dos critérios de proteção à vida aquática, estabelecidos pela legislação federal (CONAMA 2005). A concentração de íons  $H^+$  e  $OH^-$ , na água no ambiente natural, é fortemente influenciada por sais, ácidos e bases presentes no meio. Esses dados fornecem informações sobre a sua qualidade, o tipo de solo por onde a água percorreu, o tipo de poluição química da água e a qualidade do ambiente (Donadio et al. 2005).

O termo cor inclui não somente as substâncias dissolvidas, mas também aquela que envolve a matéria orgânica suspensa (Macedo 2004). Os maiores valores aferidos foram constatados no período seco devido à concentração dos elementos. No período chuvoso, constatou-se maior carreamento do solo, alterando principalmente os parâmetros Cor e Turbidez.

A alcalinidade apresentou variação de 1 a 17 no período de estiagem e 2 a 28 no período chuvoso, os valores aferidos foram cumulativos, possivelmente oriundos do arraste de sedimentos e intemperismo nas margens das drenagens.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou variação, diretamente ligada ao tipo do percurso nos pontos amostrados, ambiente lótico com a presença de corredeira, decorrente da geomorfologia local, mesmo com as evidentes contribuições de efluentes domésticos, este parâmetro apresentou pouca variação no período chuvoso, tendo suas principais alterações no período de estiagem, variando de 1,7 a 9,7.

A determinação do nitrogênio amoniacal em um corpo hídrico é de suma importância para determinação da qualidade de suas águas. A forma da amônia não ionizada ( $NH_3$ ) é reconhecidamente a espécie mais tóxica de amônia (Erickson 1985). Nas amostragens realizadas o  $NH_3$  apresentou variações de 0,22 a 2,08 no período chuvoso e as maiores concentrações no período de estiagem, com valores variando de 0,25 a 8,60. Conseqüentemente o ponto que apresentou a maior concentração de  $NH_3$ , apresentou o menor valor para o OD (1,7 mg/L). As variações encontradas de  $NO_3^-$  no período de chuva 1,16 a 15,49 e no período seco

foi de 0,51 a 13,88. As formas de nitrogênio amoniacal encontradas nas amostras indicam lançamento de efluentes domésticos nos corpos hídricos da bacia do ribeirão Anicuns.

O ciclo do nitrogênio em um corpo hídrico fornece informações importantes para identificar o estágio de poluição de corpos d'água. A presença de amônia em sua forma não ionizada, indica poluição recente no corpo hídrico, enquanto a predominância de nitratos representa uma poluição mais antiga. Os nitritos normalmente estão em concentrações mais reduzidas, por serem instáveis e se oxidarem facilmente a nitrato. Quando todas estas espécies estão presentes, significa uma fase intermediária de poluição ou um despejo contínuo associado a um baixo padrão de circulação da água do corpo receptor, e está diretamente ligada a outros parâmetros como o pH (Leite 2004, Cerna 2008, Reis & Mendonça 2009). Considerando as características do ciclo do nitrogênio e os valores encontrados nas determinações de  $\text{NH}_3$ , pode-se verificar que existem lançamentos de efluentes recentes nos pontos P05, P06 e P07 no período de estiagem. Já nos pontos P03, P04, P08, P10 e P11 os resultados indicam uma contaminação mais antiga para o mesmo período, observando-se o  $\text{NO}_3^-$ . No período chuvoso verifica-se que a maior parte da contaminação por efluentes domésticos é mais antiga em todos os pontos. Ressalta-se que existem lançamentos recentes, conforme resultados das determinações de  $\text{NH}_3$ , mas os lançamentos mais antigos se destacam em todos os pontos.

O  $\text{SO}_4^{2-}$  variou de 0,34 a 7,86 (seca) e 0,20 a 7,44 (chuva) e o  $\text{Cl}^-$  apresentou variação de 0,95 a 16,14 (seca) e 0,52 a 10,78 (chuva). Verifica-se na determinação de  $\text{Cl}^-$  que os resultados são sistematicamente menores no período chuvoso, indicando a diluição do corpo hídrico pela precipitação. Ressalta-se o  $\text{SO}_4^{2-}$  e o  $\text{Cl}^-$  são indicadores da contaminação por esgotos sanitários e os resultados obtidos indicam contribuição de lançamento de efluentes domésticos na bacia do Ribeirão Anicuns.

Os sulfatos em corpos hídricos originam-se, a partir da oxidação da matéria orgânica ou da alteração de sulfetos e ou sulfatos das rochas, em processos geológicos de depósitos residuais. Em águas superficiais, altas concentrações estão ligadas a descargas de esgotos domésticos (Arruda et al. 2012).

A elevação do nível de cloreto em curso d'água está diretamente associado com o lançamento de esgotos sanitários. As descargas de efluentes domésticos nas águas superficiais são fontes importantes de cloretos, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L (Cetesb 2009).

Foi identificada a presença de  $\text{PO}_4^{3-}$  em quantidade superior ao permitido pela legislação federal (CONAMA 2005), em ambos os períodos da amostragem. Possivelmente

oriundo efluentes domésticos, considerando as características de ocupação da bacia hidrográfica (Amostras - P1, P5, P6, P7).

#### 4.4.2. Correlações

O coeficiente de correlação de Spearman varia entre -1 e 1, sendo que o sinal, negativo ou positivo, indica a direção, enquanto que o valor indica a magnitude da correlação. Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação, ou ausência de correlação. Uma correlação positiva indica que quando um parâmetro aumenta, ou outro também aumenta, ou seja, valores altos de determinado parâmetro estão associados a valores altos de outro parâmetro. Uma correlação negativa indica que quando um parâmetro aumenta, o outro diminui, ou seja, valores altos de determinado parâmetro estão associados a valores baixos de outro parâmetro (Figueiredo et al. 2014).

A matriz de correlação composta pelas variáveis empregadas neste trabalho pode ser vista nas tabelas 6 e 7. Foi considerada a seguinte classificação para a magnitude dos coeficientes de correlação: valores entre 0,10 e 0,29 (fracos), escores entre 0,30 e 0,49 (moderados); e valores entre 0,50 e 1 (fortes), sendo negativos ou positivos. Para este estudo o coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa uma forte relação e serão utilizados para avaliação (Helena et al. 2000, Cohen 1988). Todas as variáveis estudadas apresentaram correlação superior a 0,5 com pelo menos três outras variáveis.

**Tabela 6 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período chuvoso.**

	Temp	Cor	Turb	pH	TSD	CE	OD	Alc	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
Temp	1													
Cor	-	1												
Turb	-	0,96	1											
pH	-	0,89	0,93	1										
TSD	-	0,81	0,68	0,75	1									
CE	-	0,81	0,68	0,75	1	1								
OD	-	-	-	-	-	-	1							
Alc	-	0,89	0,89	0,94	0,83	0,83	-	1						
NH <sub>3</sub>	-	0,93	0,92	0,91	0,81	0,81	-	0,95	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	0,81	0,64	0,61	0,92	0,92	-	0,71	0,72	1				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-	0,60	0,60	-0,77	-	-	0,58	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	0,64	0,64	-0,63	-	-	0,54	0,70	1		
Cl <sup>-</sup>	-	0,60	-	0,51	0,85	0,85	-0,59	0,61	0,53	0,81	0,68	0,81	1	
F <sup>-</sup>	-	0,63	0,59	0,64	0,52	0,52	-	0,69	0,69	-	-	-	-	1

**Obs.:** (-) abaixo do nível de significância; Temp (°C)-Temperatura; Cor (uH); Turb (NTU)-Turbidez; TSD (mg/L)-Totais de sólidos dissolvidos; CE (ms/cm)-Condutividade elétrica; OD (mg/L)-Oxigênio dissolvido; Alc (mg/L)-Alcalinidade; NH<sub>3</sub> (mg/L)-Amônia; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/L)-Sulfato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(mg/L)-Fosfato; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)-Nitrato; Cl<sup>-</sup>(mg/L)-Cloro; F<sup>-</sup> (mg/L)-Fluoreto.

**Tabela 7 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período estiagem.**

	Temp	Cor	Turb	pH	TSD	CE	OD	Alc	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
Temp	1													
Cor	-	1												
Turb	-	1	1											
pH	0,55	0,67	0,65	1										
TSD	-	-	-	0,68	1									
CE	-	-	-	0,68	1	1								
OD	-	-0,63	-0,61	-	-0,54	-0,54	1							
Alc	0,73	-	-	0,87	0,72	0,72	-0,56	1						
NH <sub>3</sub>	-	0,55	0,54	0,65	0,88	0,88	-0,80	0,69	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	0,74	0,99	0,99	-0,58	0,76	0,90	1				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	0,60	0,58	-	0,67	0,67	-0,90	-	0,78	0,67	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-0,79	-0,79	-	-	-	0,52	-	-	-	-	1		
Cl <sup>-</sup>	-	-	-	0,52	0,94	0,94	-	0,53	0,76	0,92	0,67	-	1	
F <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

**Obs.:** (-) abaixo do nível de significância; Temp (°C)-Temperatura; Cor (uH); Turb (NTU)-Turbidez; TSD (mg/L)-Totais de sólidos dissolvidos; CE (ms/cm)-Condutividade elétrica; OD (mg/L)-Oxigênio dissolvido; Alc (mg/L)-Alcalinidade; NH<sub>3</sub> (mg/L)-Amônia; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/L)-Sulfato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(mg/L)-Fosfato; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)-Nitrato; Cl<sup>-</sup>(mg/L)-Cloro; F<sup>-</sup> (mg/L)-Fluoreto.

A temperatura não apresentou correlação com nenhum parâmetro no período chuvoso, já no período de estiagem apresentou forte correlação com pH e alcalinidade.

O parâmetro cor no período de estiagem não apresentou correlação com os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, fosfato e nitrato. No período de estiagem apresentou forte correlação com a turbidez, pH, amônia e fosfato, apresentou correlação inversamente proporcional com o oxigênio dissolvido e nitrato.

As fortes correlações do TDS e CE na época seca, com os ânions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>, (R= 0,67 a 0,99) e chuvosa (R= 0,60 a 0,92) nas águas da bacia do Ribeirão Anicuns e a correlação no período chuvoso com os parâmetros NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R= 0,64) e F<sup>-</sup> (R=0,52), sugerem a contribuição das atividades domésticas (efluentes). O fluoreto é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie dentária, pode ser excretado pela urina e sua eliminação é influenciada por diversos fatores, tais como o estado de saúde da pessoa e seu grau de exposição a esta substância (Cetesb 2009).

O pH tem forte correlação com o parâmetro NH<sub>3</sub>. Isso confirma a influência do pH no ciclo do nitrogênio amoniacal, e mostra que no período chuvoso o despejo de efluentes é mais acentuado. A forte correlação inversa do OD com NH<sub>3</sub> (ver tabela 04) no período de estiagem, confirma que a contaminação nos pontos P05, P06 e P07 é recente, os resultados demonstram um ambiente redutor, onde tem-se valores elevados para NH<sub>3</sub> e OD baixo.

No período chuvoso observa-se mais claramente a forte correlação dos elementos e compostos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>3</sub>) que na época seca. Assim, a influência de áreas urbanas é maior no período das chuvas.

#### 4.5. CONCLUSÕES

Os parâmetros determinados durante o período de 2015 demonstram a variação da qualidade da água na bacia do ribeirão Anicuns, indicando a influência direta das atividades antrópicas. As áreas dos pontos amostrados possuem passivos ambientais oriundos de atividades antrópicas, contribuindo significativamente para mudanças na qualidade da água. Essas alterações são observadas, nas áreas de preservação permanente com ausência de cobertura vegetal ou lançamentos de efluentes domésticos e resíduos sólidos.

O ponto de amostragem P08 – nascente do córrego Botafogo, indica boa qualidade da água amostrada. Os demais pontos amostrados em áreas de nascente (P01, P09 e P10) mesmo apresentando no contexto geral bons resultados para os parâmetros determinados, indicam alterações de origem antrópica. Ressalta-se que os pontos P09 e P10 localizados na área de implantação do Parque Municipal Macambira Anicuns, estão sofrendo intervenções urbanas, com a verticalização das construções, (implantação de prédios residenciais), adensando a região, o que justifica as fortes alterações nos parâmetros,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_3$ .

Os parâmetros fosfato, nitrato, amônia, turbidez, pH e oxigênio dissolvido ficaram acima do Valor Máximo Permitido-VMP, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, tanto em período chuvoso quanto de estiagem.

Destaca-se que os valores encontrados para os parâmetros  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{Cl}^-$ , indicam contaminação do corpo hídrico pelo lançamento de esgotos sanitários. Ressalta-se que conforme as características geológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns não há contribuições da geologia local para esses parâmetros.

A análise não paramétrica de Spearman, ajudou na compreensão e identificação das correlações entre os parâmetros físico-químicos, ratificando os resultados encontrados e sua relação com o processo de uso do solo (urbanização). Pôde ser constatado diversas alterações antrópicas, decorrentes da falta de aplicação do planejamento urbanístico, socioeconômico e ambiental, hoje previstos no Plano Diretor do município de Goiânia.

#### 4.6. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Geociências Aplicadas da UnB, aos professores e técnicos Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da UnB, ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiás – IFG, ao CNPq e a CAPES.

#### 4.7. REFERÊNCIAS

Almeida, S. G. et al. 2001. *Crise socioambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira: subsídios à formação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola*. AS-PTA, Rio de Janeiro, 122 pp.

- ANA - Agência Nacional de Águas. 2005. *Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil*. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, 176 pp.
- Andrade E.M., Araújo L.F.P., Rosa M.F., Gomes R.B., Lobato F.A.O. 2007. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. *In: Ciência Rural*, **37**(6):1791 – 1797.
- Arruda G.B., Correia K.V., Menor E.A., Lins V. 2012. Contaminações em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina-PE. *In: Estudos Geológicos*, **22**(2): 149-171.
- BRASIL.1997. Lei 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acessado em 23 jan 2016.
- Carmo, M.S.; Boaventura, G. R.; Oliveira, E.C. 2005. Geoquímica das Águas da Bacia do Rio Descoberto. *In: Química Nova*, **28**(4):565-574.
- Casseti V. 1992. Geomorfologia do município de Goiânia-GO. *In: Boletim Goiano de Geografia*, **1**(12): 65-85.
- Cerna C.E.L. 2008. Degradação da amônia em efluentes com ácido de caro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Metalúrgica, PUC-Rio, 102 p.
- Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2009. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>. Acessado em 15 maio 2016.
- Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, Second Edition. LEA - Lawrence Erlbaum Associates, New York, 567pp.
- Conama. 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em 23 jan 2016.
- Donadio N.M.M., Galbiatti J.A., Paula R.C. 2005. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. *In: Engenharia Agrícola*, **25**(1): 115-125.
- Erickson R.J. 1985. An evaluation of mathematical models for the effects of ph and temperature on ammonia toxicity to aquatic organisms. *In: Water Research*, **19**: 1047-1058.
- Figueiredo Filho D.B., Rocha E.C., Silva Jr J., Paranhos R., Neves J.A.B., Silva M.B. 2014. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Perarson. *In: Leviathan Cadernos de Pesquisa Política*, **8**: 66-95.
- Hair, J.F., Black W.C. Babin B.J., Anderson R.E. 2009. *Análise Multivariada de Dados*. Bookman Editora, Porto Alegre, 688pp.
- Helena B., Pardo R., Veja M., Barrado E., Fernandez J.M., Fernandez L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *In: Water Research*, **34**(3): 807-816.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Censo 2010 e Estimativa da População 2014. Disponível em <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=520870>. Acessado em 12 jan 2016.
- INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. 2016. Gestão da Qualidade das Águas. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/index.htm&lang=PT-BR>. Acessado em 21 jan 2016.
- ITCO - Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste. 2008. Zoneamento ecológico-econômico do município de Goiânia. Prefeitura Municipal de Goiânia, Goiânia, 377pp.

- Jardim, B.F.M. 2011. Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da Bacia do Rio das Velhas-MG e sua associação com as florações de cianobactérias. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 113 p.
- Lacerda Filho, J.V. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. CPRM/METAGO/UnB, Goiânia, 184p.
- Leite A.E.B. 2004. Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA. Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, 86p.
- Logan J. 1965. Interpretação de Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development, Recife, 75p.
- Macedo J.A.B. 2004. Águas & águas. CRQ-MG, Belo Horizonte, 977p.
- Moura L.H.A., Boaventura G.R., Pinelli, M.P. 2010. A qualidade da água como indicador de uso e ocupação do solo: bacia do Gama – Distrito Federal. *In: Química Nova*, **33**(1):97 – 103.
- Mulholland D.S. 2009. Geoquímica Aplicada à Avaliação da Qualidade de Sistemas Aquáticos da Bacia do Rio Paracatu (MG). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 95 p.
- Mulholland D.S., Boaventura G.R., Araújo D.F. 2010. Modelo Geoquímico aplicado à Avaliação da Qualidade da Água da Bacia do Alto Curso do Rio Paracatu. *In: Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, **14**(2): 39-46.
- Peixoto, P.P.P. 2003. Aspectos qualitativos das águas superficiais do córrego Curral de Arame. *In: CBCS*, **29**, Resumos.
- Pimenta S.M., Lima C.V., Ribeiro T.G. 2009. Avaliação físico-química da qualidade da água, relação com uso do solo na bacia do ribeirão Santo Antônio. *In: Revista Processos Químicos*, **3**(5): 88-104.
- Poudel D.D., Lee T., Srinivasan R., Abbaspour K., Jeong C.Y. 2013. Assessment of seasonal and spatial variation of surface water quality, identification of factors associated with water quality variability, and the modeling of critical nonpoint source pollution areas in an agricultural watershed. *In: Journal Soil and Water Conservation Society*, **68**(3):155-171.
- Reis J.A.T., Mendonça A.S.F. 2009. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. *In: Engenharia Sanitária e Ambiental*, **14**(3): 353-362.
- Sugimoto S., Nakamura F., Ito A. 1997. Heat budget and statistical analysis of the relationship between stream temperature and riparian forest in the Toikanbetsu river basin, Northern Japan. *In: Journal of Forest Research*, **2**(2): 103-107.
- Swift Jr. L.M., Messer J.B. 1971. Forest cuttings raise temperatures of small streams in the southern Appalachians. *In: Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, **26**(23): 111-17.
- Takeo N. 2005. Atlas of Eh-pH diagrams, Intercomparison of thermodynamic databases. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan, 287pp.
- Zhang Z., Chen Y., Wang P., Shuai J., Tao F., Shi P. 2014. River discharge, land use change, and surface water quality in the Xiangjiang River. *In: Hydrological Processes*, **28**(13):4130-4140.

## CAPÍTULO 5 – DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COMO INDICADOR GEOQUÍMICO, NA BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM GOIÂNIA, GOIÁS <sup>11</sup>

*DETERMINATION OF AIR QUALITY AS A GEOCHEMICAL INDICATOR IN THE RIBEIRÃO ANICUNS BASIN IN GOIÂNIA, GOIÁS*

TIAGO GODOI RIBEIRO<sup>12</sup>

GERALDO RESENDE BOAVENTURA<sup>13</sup>

LUCIANO SOARES DA CUNHA<sup>14</sup>

SANDRO MORAIS PIMENTA<sup>15</sup>

### RESUMO:

O crescimento da urbanização resulta em altos níveis de poluentes atmosféricos nas grandes cidades, diminuindo a qualidade do ar, representado um sério e preocupante problema de saúde pública. O estudo objetivou avaliar durante o segundo semestre de 2016 e início de 2017, os níveis de poluição do ar, através das concentrações de partículas em suspensão, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono, da cidade de Goiânia, mais precisamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Para isso foi utilizado um micro sensor, calibrado a partir de uma estação de referência do CETESB. Goiânia não apresentou no período amostrado problemas de poluição relacionados à dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ao monóxido de carbono, mesmo considerando que a região metropolitana possui diversos polos industriais e alta densidade urbana. As partículas em suspensão e o ozônio foram os parâmetros que ultrapassaram os níveis de concentração estabelecidos pela legislação. Destarte, esta pesquisa ressalta a importância e necessidade de maior rigor no monitoramento e controle, bem como na fiscalização por parte dos órgãos ambientais e de saúde a qualidade do ar.

**Palavras chave:** Qualidade do Ar; poluição atmosférica; monitoramento.

### ABSTRACT:

*The growth of urbanization results in high levels of air pollutants in large cities, reducing air quality, which is a serious and worrying public health problem. The study aimed to evaluate the levels of air pollution, through the concentrations of suspended particles, ozone, sulfur dioxide, nitrogen dioxide and carbon monoxide, in the city of Goiânia during the second semester of 2016 and beginning of 2017. Precisely in the watershed of Ribeirão Anicuns. For this, a micro sensor was used, calibrated from a CETESB reference station. Goiânia did not show pollution problems related to sulfur dioxide, nitrogen dioxide and carbon monoxide in the sampled period, even considering that the metropolitan region has several industrial poles and high urban density. Suspended particulates and ozone were the parameters that exceeded the concentration levels established by the legislation. Thus, this research emphasizes the importance and necessity of greater rigor in monitoring and control, as well as in the inspection by the environmental and health organs of air quality.*

**Keywords:** Air quality; atmospheric pollution; Monitoring.

<sup>11</sup> Artigo submetido: Revista Fronteiras. ISSN 2238-8869

<sup>12</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Aparecida de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Doutorando pelo Instituto de Geociências - IG, da Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. [godoiribeiro@gmail.com](mailto:godoiribeiro@gmail.com).

<sup>13</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>14</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>15</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Goiânia, Goiânia, Goiás, Brasil.

## 5.1. INTRODUÇÃO

No início do século XX, o ar não era abordado de forma tão evidente, acreditava-se que estaria continuamente disponível de forma a manter a vida no planeta. A poluição atmosférica é uma questão ambiental crítica, não pode ser ignorada e continua a representar uma ameaça significativa para a saúde a nível mundial. O ar limpo é um requisito básico para a saúde e o bem-estar da população, sendo considerado pelas Nações Unidas como um dos objetivos da sustentabilidade. (Russo, 2010; ONU 2016; Borrego et al 2016; Dapper et al., 2016).

O crescimento da urbanização resulta em altos níveis de poluentes atmosféricos nas grandes cidades, diminuindo a qualidade do ar. As emissões industriais, o tráfego de veículos automotores, o aquecimento doméstico, e outras ações antropogênicas são as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos (Alvares Junior et al 2002; Freiberg 2009; Borrego et al 2016; Fishbain et al 2017).

Controlar a poluição e monitorar a qualidade do ar se faz necessário para implementar estratégias de redução e estimular a consciência ambiental entre os cidadãos. Para isso, existem várias técnicas e tecnologias que podem ser usadas para o monitoramento da poluição do ar (Borrego et al 2016, Castell et al 2017).

Para determinação das concentrações de poluição atmosférica são utilizadas estações de monitoramento estáticas, chamadas estações de referência, normalmente equipadas com instrumentos certificados para a medição de poluentes, como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, ozônio e partículas.

As estações de referência são relativamente grandes, pesadas e caras, normalmente instaladas em grandes centros urbanos de regiões bem desenvolvidas. Contudo, os elevados custos de instalação e manutenção dessas estações de monitoramento inviabilizam a avaliação da qualidade do ar em diversos locais. Por estas razões, o número de estações de referência para monitoramento da qualidade do ar é geralmente pequeno e a densidade de observações é extremamente baixa para permitir um mapeamento espacial detalhado do ar (Borrego et al 2016; Castell et al 2017; Fishbain et al 2017).

Os avanços na tecnologia de sensores para monitoramento da poluição do ar permitiram o desenvolvimento de sistemas pequenos e de baixo custo para medir a qualidade do ar em ambientes externos. Nos últimos anos diversos equipamentos têm sido comparados e calibrados com estações de referência para serem utilizados como métodos indicativos (Jiao et al 2016).

O estudo objetivou avaliar durante o segundo semestre de 2016 e início de 2017, os resultados dos níveis de poluição do ar, através das concentrações de partículas, ozônio, dióxido

de Enxofre, dióxido de Nitrogênio e monóxido de carbono da cidade de Goiânia, mais precisamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Para isso foi utilizado um micro sensor, POD AQMesh, calibrado a partir de uma estação de referência do CETESB (POSTEC, 2015).

## **5.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.2.1. Caracterização da Área de Estudo**

A capital do Estado de Goiás, Goiânia, possui aproximadamente 1.400.000 habitantes, sendo a capital estadual mais próxima à capital federal. Possui um território de 733,116 km<sup>2</sup>, localizado na mesorregião do Centro Goiano, Microrregião de Goiânia (Ribeiro et al. 2016; IBGE 2014).

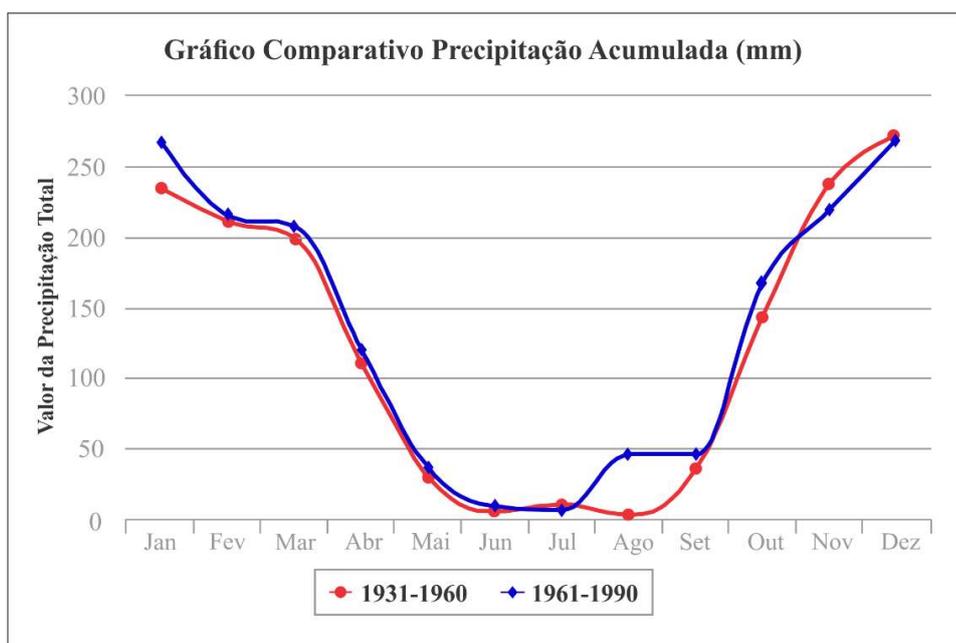
Com uma área de drenagem de aproximadamente 199 km<sup>2</sup>, a Bacia do Ribeirão Anicuns, apresenta um comprimento total do curso d'água de 24 km. O Ribeirão Anicuns nasce na divisa dos municípios de Goiânia e Trindade, próximo ao Parque Eldorado Oeste, seu curso segue o sentido de oeste a leste até sua foz na margem direita no Rio Meia Ponte. Estima-se que 70% da população da capital estejam ocupando a bacia do Ribeirão Anicuns, perfazendo aproximadamente um milhão habitantes nessa localidade (ITCO, 2008; Ribeiro et al. 2016).

Goiânia possui estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e portando apresenta dados relativos às suas condições climáticas. Os dados utilizados apresentados são os da série histórica (normais climatológicas, 1961-1990) da estação Goiânia do INMET (16°40' latitude sul e 49°15' longitude oeste), localizada na área da bacia do Ribeirão Anicuns.

Goiânia está localizada em uma região que possui clima, segundo a classificação de Köppen (1931), tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, e outra úmida, com chuvas torrenciais, que correspondem ao período de primavera e verão.

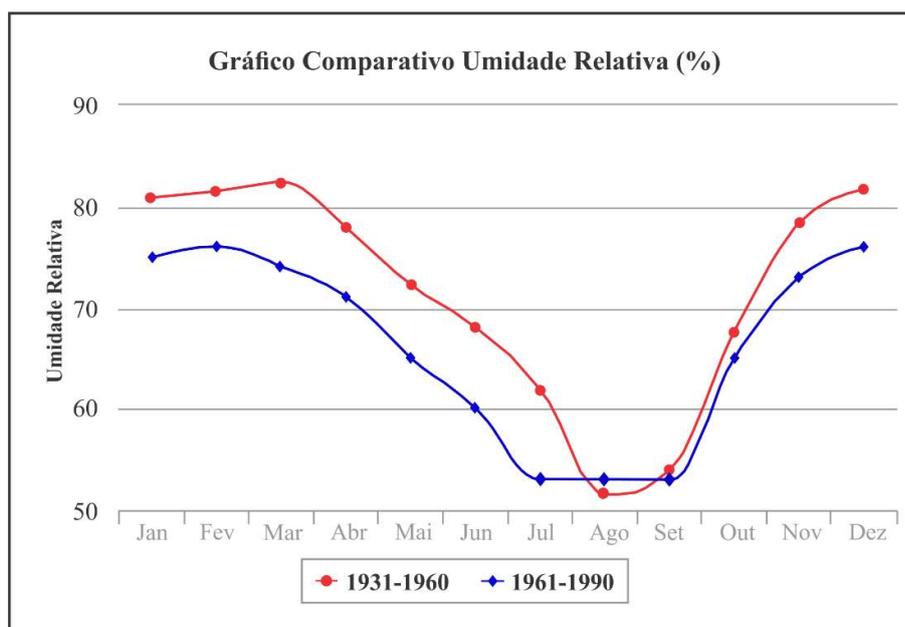
Existe uma variação sazonal na incidência de chuvas, com maiores índices de precipitação de outubro a março e valores mínimos de abril a setembro, mostrando uma distribuição irregular da pluviosidade ao longo do tempo, caracterizando um verão chuvoso e um inverno seco. Nos meses de janeiro e fevereiro, que são normalmente os de maior precipitação, podem ocorrer períodos de interrupção total, que chegam a atingir até mais de uma semana, caracterizando o “veranico”, como é conhecido, que se faz acompanhar de

desastres na agricultura (RAMOS, et al., 2009; INMET, 2017). O total pluviométrico anual para a região de Goiânia gira em torno de 1.500 mm à 1.600 mm, conforme a figura 26.



**Figura 26 - Precipitação Acumulada (mm). Normais climatológicas (1931-1960 / 1961-1990). Fonte: RAMOS, et al., 2009; INMET, 2017.**

A umidade relativa do ar (Figura 27) apresenta estreita relação com a variação sazonal da precipitação: a maior umidade, no período de novembro a abril, quando a média mensal está acima de 70%, com destaque para os meses de dezembro e janeiro, com 80%. O período de estiagem, que vai de julho a setembro, justifica a baixa umidade relativa do ar, quando os índices ficam um pouco acima dos 50%.



**Figura 27 – Umidade Relativa (%). Normais climatológicas (1931-1960 / 1961-1990). Fonte: RAMOS, et al., 2009; INMET, 2017.**

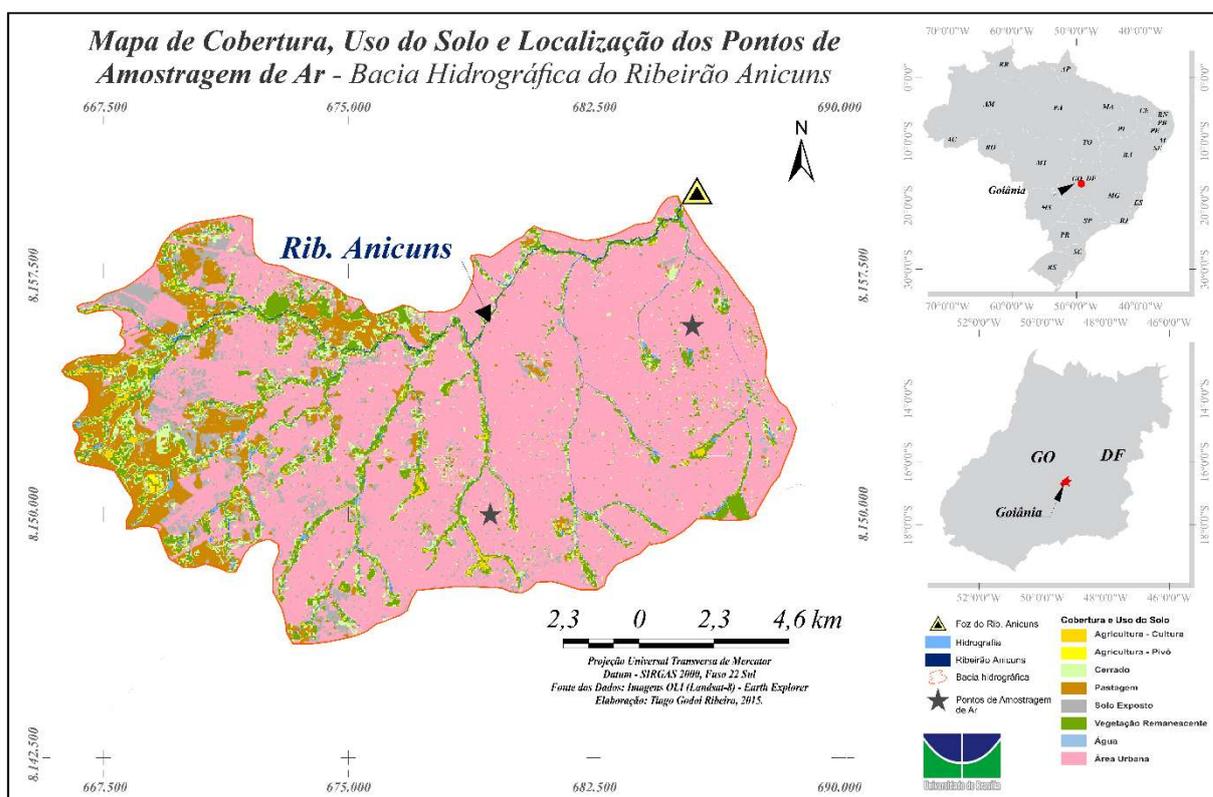
## 5.2.2. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem

Os pontos de amostragem foram definidos levando-se em consideração a área do município e a pressão antrópica. Para esta finalidade, foi estabelecido 2 (dois) locais de amostragem, distribuídos na bacia do Ribeirão Anicuns, em locais com grande tráfego de veículos.

A localização dos pontos de monitoramento localizados na bacia do Ribeirão Anicuns são apresentados no quadro 7 e figura 28.

**Quadro 7 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar.**

PONTO DE AMOSTRAGEM	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
1. Câmara Municipal de Goiânia, Praça do Trabalhador (Ponto GO 01)	Avenida Goiás esquina com Avenida Independência, nº 2001, Centro.	16°39'51" - 49°15'44"
2. Parque Amazônia (Ponto GO 02)	Avenida Feira de Santana, Praça da CEMACO.	16°43'52" - 49°16'20"



**Figura 28 - Localização dos Pontos de Amostragem de Ar.**

O micro sensor POD AQMesh foi instalado primeiramente em uma residência no Parque Amazônia (GO 02) em agosto de 2016 e posteriormente na Câmara Municipal de Goiânia (GO 01) em dezembro de 2016. Os locais foram escolhidos por atenderem os requisitos

necessários ao monitoramento da qualidade do ar, áreas adensadas, grande fluxo de veículos e pessoas, ausência de barreiras naturais e artificiais dos ventos, condições de segurança evitando o vandalismo e adulteração do equipamento. Em cada ponto de amostragem foi instalado um suporte em metal na parede, a três metros de altura para fixação do equipamento.

A área de influência de monitoramento da unidade POD AQMesh depende de diversos fatores que podem influenciar no monitoramento, assim como nas estações de referência, como: distância das fontes de poluentes; altura do solo; elevação em relação ao nível do mar (Pressão Atmosférica); relevo; presença ou não de grandes construções próximas (efeito cânion); quadro sinótico da região - Condição dos ventos (POSTEC, 2015).

### **5.2.3. Método de Medição**

Foi utilizado um método indicativo para determinação dos níveis de poluição atmosférica na bacia do Ribeirão Anicuns em Goiânia. As amostragens foram realizadas através do equipamento, denominado POD, fabricado pela AQMesh, que tem a capacidade de analisar quatro tipos de gases atmosféricos, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e três padrões atmosféricos (quadro 8). Os parâmetros de qualidade do ar monitorados são: dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>), temperatura (°C), pressão atmosférica (mBar) e umidade relativa do ar (%).

Os gases são medidos utilizando sensores eletroquímicos, que permitem compensação por fatores ambientais, com sensibilidade à 5ppb. As Partículas Totais em Suspensão são determinadas por um sensor ótico, que se baseia no espalhamento da luz pelas partículas e na detecção deste espalhamento para sua mensuração.

O equipamento, para produzir maior precisão possível de aferição, descarta quatro primeiros dias de amostragem, este é o período que ocorre a estabilização da unidade de acordo com as condições atmosféricas da região, após esses 4 dias, a série de dados é extraída remotamente via comunicação com o sistema online.

**Quadro 8 - Dados Técnicos de Funcionamento do POD fabricado pela AQMesh.**

Equip.	Parâmetro	Modelo do Sensor	Tipo de Sensor	Faixa de Detecção
POD	SO <sub>2</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-4000 ppb
	NO <sub>2</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-4000 ppb
	O <sub>3</sub>	Alphasense B4	Eletroquímico	0-1800 ppb
	CO	Alphasense B4	Eletroquímico	0-6000 ppb
	PTS	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-1000 µg/m <sup>3</sup>
	MP <sub>10</sub>	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-1000 µg/m <sup>3</sup>
	MP <sub>2,5</sub>	Laser AQMesh	Sensor ótico	0-500 µg/m <sup>3</sup>
	Temperatura	Sensirion SHT21	Estado sólido	-20 a 100 ° C
	Pressão atmosférica	Freescale MPL115A1	Estado sólido	500-1500 mb
Umidade relativa	Sensirion SHT21	Estado sólido	0-100% RH	

#### 5.2.4. Determinação da Qualidade do Ar na Bacia do Ribeirão Anicuns

A determinação da qualidade do ar, na bacia do Ribeirão Anicuns, se deu a partir da aplicação da metodologia do IQAr/EPA (EPA, 2014). Esse índice é uma ferramenta que tem como objetivo principal proporcionar melhor compreensão, especialmente ao público leigo, promovendo entendimento e facilitando a divulgação sobre a qualidade do ar local, em relação aos poluentes cujos padrões estão estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 03/1990.

O IQAr é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar e os critérios para episódios agudos da poluição do ar, estabelecidos conforme a Resolução CONAMA n° 03/1990

A função que relaciona a concentração do poluente com o valor do índice resulta em um número adimensional referido a uma escala com base nos padrões de qualidade do ar, indicando então os níveis de poluição, como estes influenciam na qualidade do ar e na saúde da população, conforme mostra a tabela 8 e o quadro 9.

**Tabela 8 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr. Adaptado de EPA (2014).**

QUALID.	ÍNDICE	PTS	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
		(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 1h	(ppm) 8h	(µg/m <sup>3</sup> ) 1h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h
<b>Boa</b>	<b>1</b>	0-80	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
<b>Moderada</b>	<b>0,75</b>	81-240	51-100	26-50	101-130	10-11	201-240	21-40
<b>Ruim</b>	<b>0,5</b>	241-374	101-150	51-75	131-160	12-13	241-320	41-365
<b>Muito ruim</b>	<b>0,25</b>	375-624	151-250	76-125	161-200	14-15	321-1130	366-800
<b>Péssima</b>	<b>0</b>	≥ 625	≥ 251	≥126	≥201	≥16	≥1131	≥801

**Quadro 9 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Implicações Gerais à Saúde da População. Adaptado de EPA (2014).**

QUALIDADE DO AR E EFEITOS À SAÚDE		
QUALIDADE	ÍNDICE	SIGNIFICADO
Boa	1	Praticamente não há riscos à saúde.
Moderada	0,75	Pessoas de grupos sensíveis* podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Ruim	0,5	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis* podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito ruim	0,25	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta, falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis*.
Péssima	0	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis*.

\* *Grupos sensíveis: crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.*

### 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Objetivando caracterizar a qualidade do ar na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, foram avaliados os resultados de concentração dos poluentes monitorados e as características meteorológicas da região no período de agosto de 2016 a fevereiro de 2017, compreendendo amostragens em duas variações sazonais, seca e chuva.

O conhecimento da climatologia local é imprescindível para o estudo da qualidade do ar em uma região, pois indicam as condições meteorológicas médias da região a ser avaliada. As variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica se apresentarão em forma de máximas e mínimas extremas, e médias mensais para os dados coletados no período de agosto de 2016 a fevereiro de 2017.

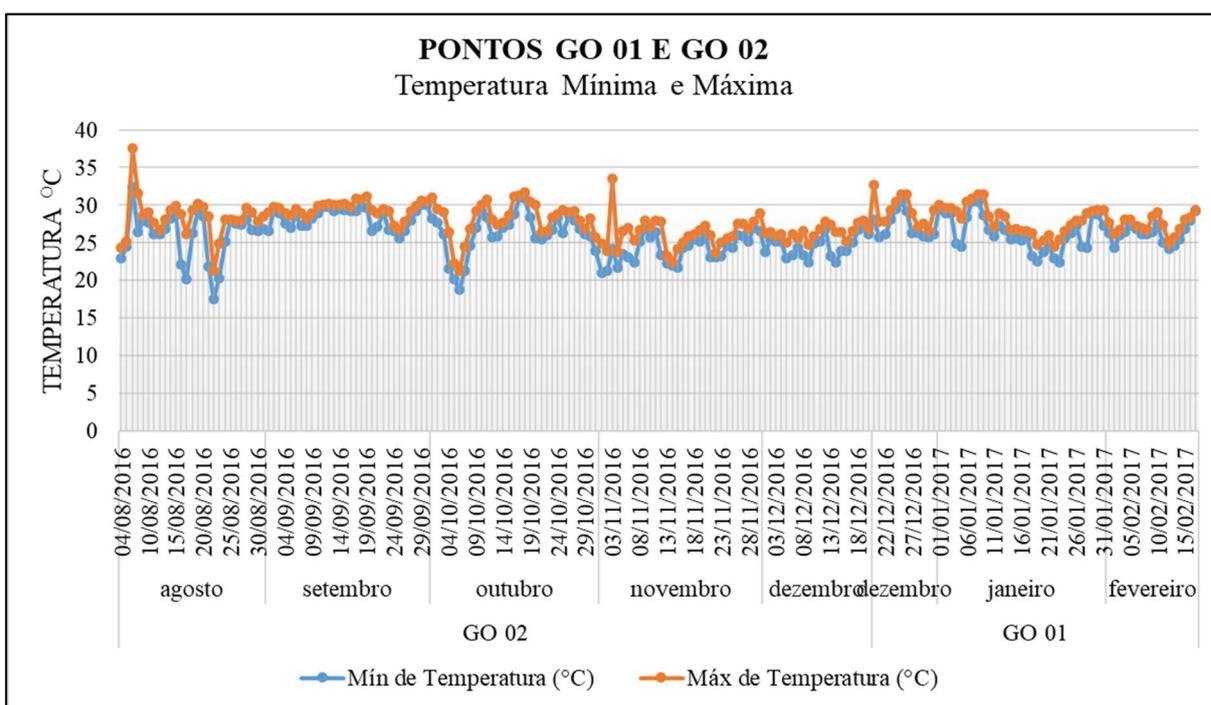
Adicionalmente, será apresentada a avaliação da qualidade do ar em cada ponto amostrado. A avaliação da qualidade do ar é realizada através do índice de Qualidade do Ar (IQAr) (EPA, 2014).

Nas seções a seguir, serão apresentadas as estatísticas obtidas para os parâmetros meteorológicos monitorados e as concentrações de poluentes atmosféricos. As avaliações sobre as concentrações de poluentes atmosféricos são apresentadas separadamente, incluindo as condições meteorológicas obtidas no período avaliado.

### 5.3.1. Meteorologia

#### 5.3.1.1. Temperatura do ar

As temperaturas médias mensais variaram entre 25,2°C a 28,9°C no ponto de amostragem GO 02, e no ponto GO 01 a variação foi de 27,2°C a 28,1°C. As temperaturas máximas extremas mensais, do ponto de amostragem GO 01, foi de 32,7°C no mês de dezembro de 2016, e de 37,6°C no mês de agosto de 2016, no ponto de amostragem GO 02. Com relação às temperaturas mínimas mensais extremas, foram registrados valores entre 17,5°C em agosto/2016 no ponto GO 02 e 22,4°C em janeiro/2017 no ponto GO 01 (Figura 29).



**Figura 29 - Temperatura Mínima e Máxima Diária.**

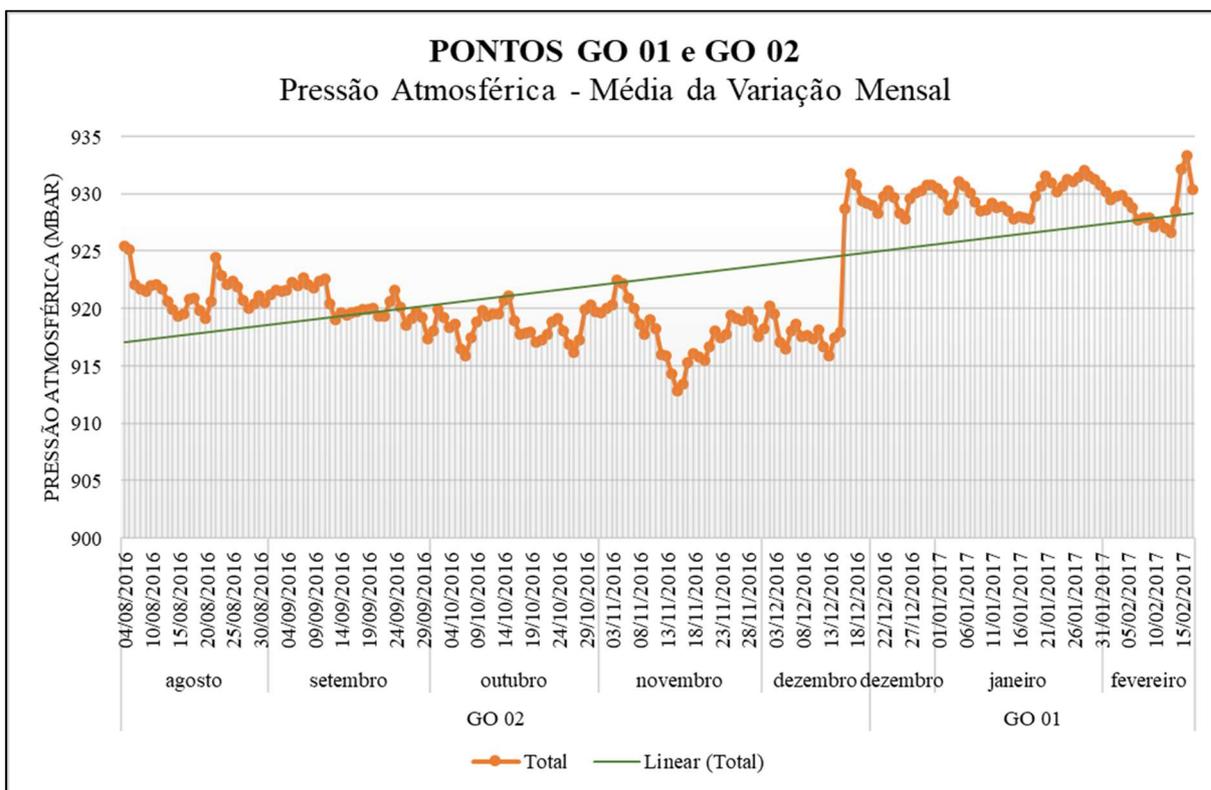
#### 5.3.1.2. Pressão Atmosférica

As situações de baixas pressões correspondem geralmente a uma grande turbulência da atmosfera, que favorece a dispersão dos poluentes. Em situações de altas pressões (anticiclone), caracterizadas por vento fraco, a estabilidade do ar não permite a dispersão dos poluentes, concentrando-se a poluição junto ao solo.

A pressão atmosférica média registrada para o ponto GO 01, foi de 929,5mbar e de 919,6mbar para o ponto GO 02 (Figura 30). A variação de pressão atmosférica no período analisado foi relativamente pequena, com seu pico de baixa pressão atmosférica registrado em novembro de 2016 (917,8mbar), no ponto GO 02.

A brusca mudança de pressão atmosférica observada na figura 30, no mês de dezembro de 2016, está diretamente ligada a alteração do ponto de amostragem. Ressalta-se que a altitude

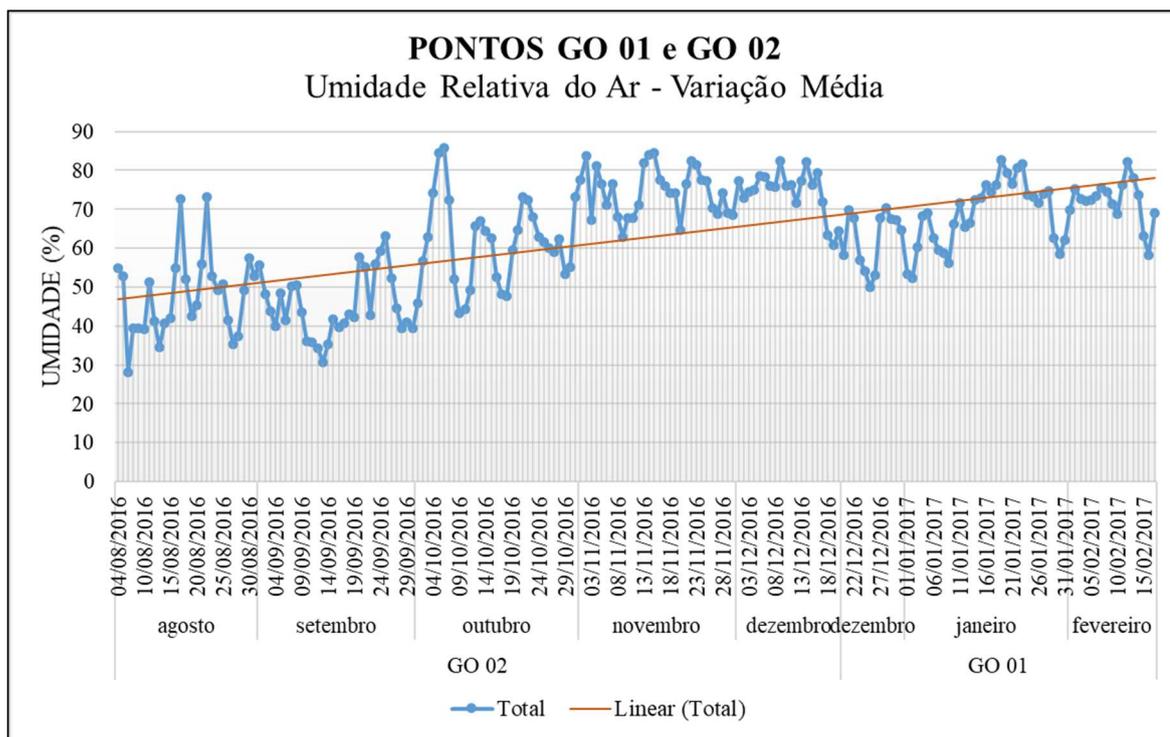
no ponto GO 02 é de 840m e no ponto GO 01 é de 739m, quanto maior a altitude do relevo, menor será a pressão atmosférica.



**Figura 30 - Variação da Pressão Atmosférica.**

### 5.3.1.3. Umidade Relativa do Ar

Os valores mensais médios de Umidade Relativa do Ar estiveram entre 47,9% em agosto de 2016, no ponto de amostragem GO 02 e 74,8% em dezembro de 2016, também no ponto GO 02. Na figura 31 temos a média de variação mensal, correspondendo ao período de agosto de 2016 a fevereiro de 2017. Destaca-se na figura 31 a linha linear ascendente, que indica aumento de umidade relativa do ar neste período, indicando o fim do período de seca e início do período chuvoso. Já com relação aos valores mínimos extremos de umidade relativa, observa-se que estes variaram entre 26%, no ponto GO 02 (agosto) a 49,4%, no ponto GO 01 (dezembro).



**Figura 31 - Umidade Relativa do Ar - Média Mensal.**

### 5.3.2. Poluentes Atmosféricos

Os padrões de qualidade do ar relacionados aos particulados, são divididos em primários e secundários. Os padrões primários são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Os padrões secundários são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CONAMA, 1990).

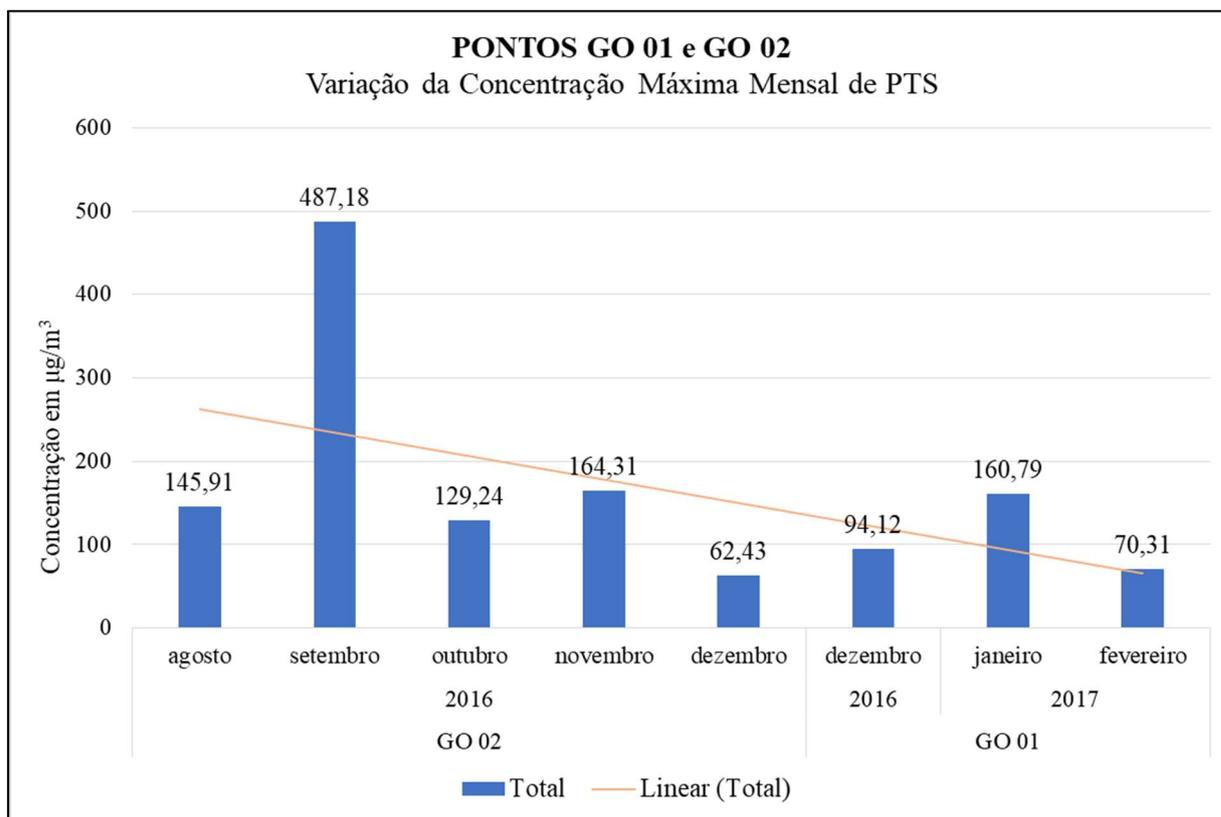
A definição de padrões secundários objetiva, subsidiar a política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Para aplicação diferenciada de padrões primários e secundários o território nacional deve ser dividido em classes I, II e III. Enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis são os primários (CONAMA, 1990). A classificação de áreas ainda não foi definida para o Estado de Goiás.

### 5.3.2.1. Partículas Totais em Suspensão - PTS

As comparações entre as máximas concentrações médias mensais de PTS com o padrão estabelecido pela legislação são apresentadas na tabela 9. A figura 32 apresenta as concentrações máximas mensais para os pontos amostrados.

**Tabela 9 - Concentrações Máximas de PTS nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem 24horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

Ponto de Amostragem	Mês	Ano	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
GO 02	Agosto	2016	145,91	240	150
	Setembro	2016	487,18		
	Outubro	2016	129,24		
	Novembro	2016	164,31		
	Dezembro	2016	62,43		
GO 01	Dezembro	2016	94,12		
	Janeiro	2017	160,79		
	Fevereiro	2017	70,31		



**Figura 32 - Concentração máxima mensal de PTS para os pontos de amostragem.**

Com relação aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990, o padrão primário foi ultrapassado no mês de setembro de 2016 no ponto GO 02 em um percentual de 95%. Esse resultado está diretamente ligado a quantidade de queimadas

registradas em Goiânia, no período de agosto de 2016 a setembro de 2017. Conforme Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017), foram registrados 302 focos de queimadas no período de maio a setembro de 2016. A maior quantidade de focos foi registrada no mês de setembro de 2017.

Comparando os resultados encontrados para PTS com a variação da umidade relativa do ar, verifica-se que a linha de tendência da concentração das partículas totais em suspensão é inversamente proporcional a variação percentual da umidade relativa do ar. Tal resultado se justifica pelo início do período chuvoso, diminuindo assim as concentrações de PTS no ar.

### **5.3.2.2. Partículas inaláveis**

Para determinação das concentrações das partículas inaláveis, a análise foi realizada a partir das concentrações individuais dos dados coletados, ou seja, material particulado  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ . As partículas menores ( $MP_{2,5}$ ) são as que mais afetam as condições de saúde da população. Essas partículas possuem capacidade de penetração nas partes mais profundas do sistema respiratório.

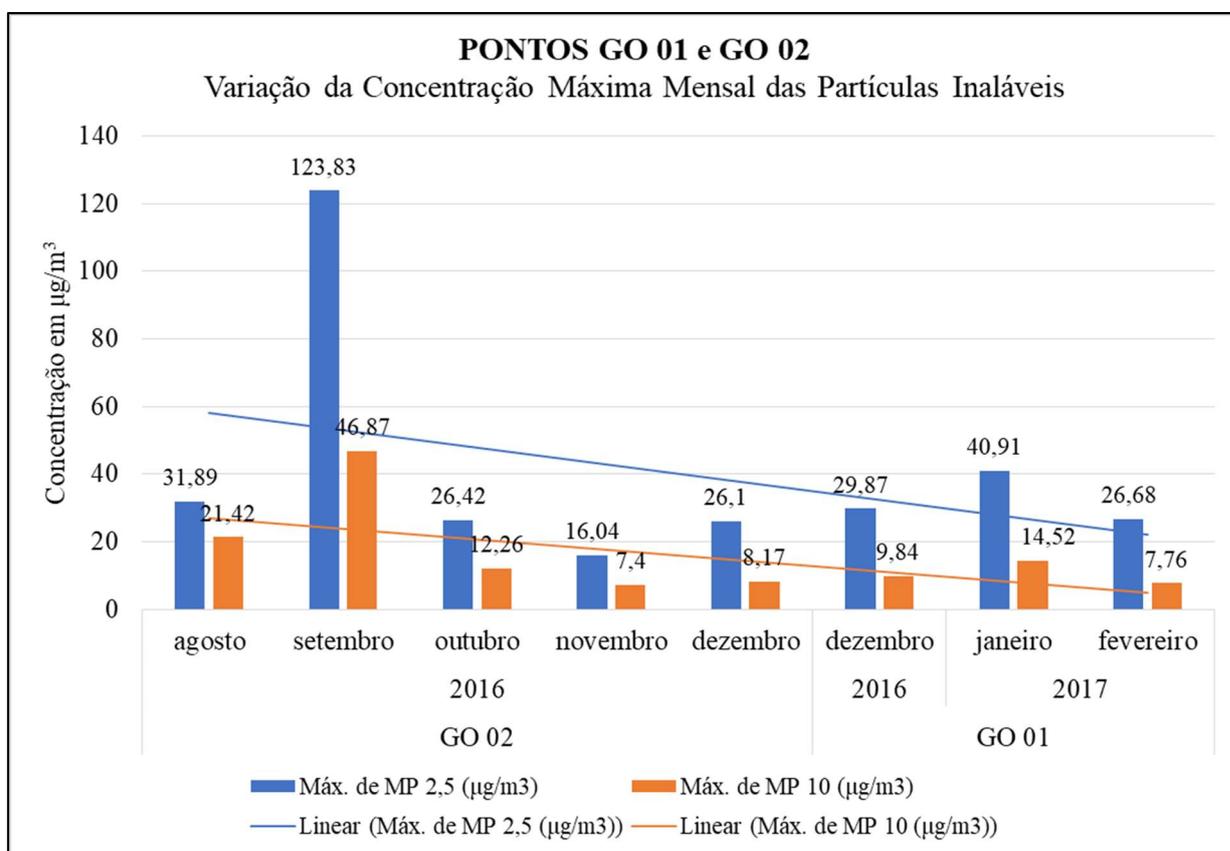
As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de partículas inaláveis ( $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ ) com o padrão estabelecido pela legislação são apresentadas na tabela 10. A figura 33 apresenta as concentrações máximas mensais de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  para os pontos amostrados.

No mês de setembro de 2016 as partículas finas ( $MP_{2,5}$ ) extrapolaram em 148% estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990 para o padrão secundário, no ponto GO 02. As máximas concentrações médias mensais de  $MP_{10}$  monitoradas nos pontos de amostragem encontraram-se abaixo do valor estabelecido para o padrão primário e secundário estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990.

Ressalta-se que o aumento das concentrações de partículas inaláveis no mês de setembro de 2016, acompanham as mesmas condições aplicáveis as partículas totais em suspensão. Neste período o INPE (INPE, 2017) registrou aumento considerável nos focos de queimadas, no município de Goiânia.

**Tabela 10 - Concentrações Máximas de partículas inaláveis nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 24 horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

Ponto de Amostragem	Mês	Ano	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Padrão Primário (µg/m <sup>3</sup> )	Padrão Secundário (µg/m <sup>3</sup> )
GO 02	Agosto	2016	31,89	21,42	150	50
	Setembro	2016	123,83	46,87		
	Outubro	2016	26,42	12,26		
	Novembro	2016	16,04	7,40		
	Dezembro	2016	26,10	8,17		
GO 01	Dezembro	2016	29,87	9,84	150	50
	Janeiro	2017	40,91	14,52		
	Fevereiro	2017	26,68	7,76		



**Figura 33 - Concentração máxima mensal das partículas inaláveis.**

### 5.3.2.3. Ozônio (O<sub>3</sub>)

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de O<sub>3</sub> com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990, são apresentadas na tabela 11.

Na figura 34, nota-se que a maioria do período monitorado apresentou valores elevados de concentração de e número de ultrapassagens ao padrão de qualidade do ar para o

O<sub>3</sub>. Logo, nenhum dos pontos monitorados esteve em conformidade com a legislação, a qual diz que pode haver apenas uma ultrapassagem no ano.

Os valores de padrões de qualidade do ar definidos na Resolução CONAMA Nº 03/1990, traz margens para que, a nível estadual, sejam revistos os padrões nacionais existentes, além da propositura de padrões para outros parâmetros ainda não legislados, bem como, a adequação do tempo de exposição para o Ozônio.

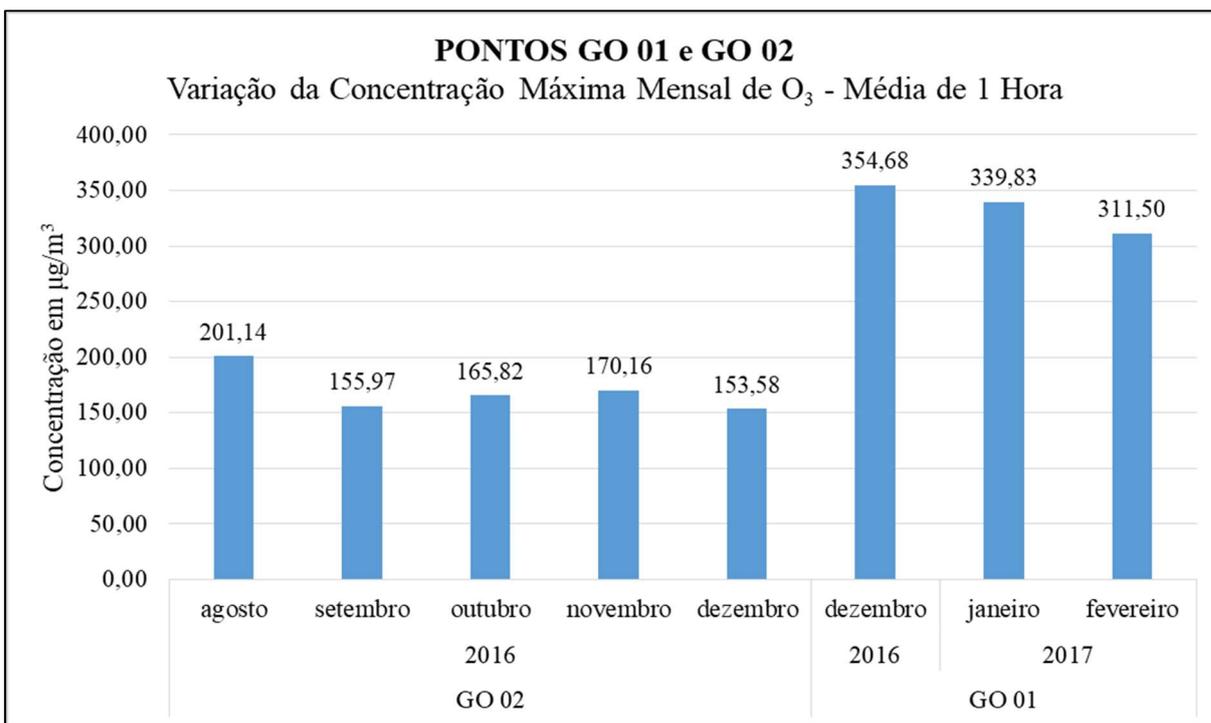
A Organização Mundial de Saúde (OMS, 2005), em uma publicação de 2005, reconhece o efeito prejudicial à saúde deste poluente, fruto da exposição contínua a altas concentrações, e não a picos agudos de concentrações horárias. Com isso, a OMS em seu guia, define diretrizes para ozônio apuradas em médias móveis de 8 horas. A mesma lógica deverá ser seguida pelo CONAMA, quando da revisão da Resolução CONAMA Nº 03/1990, já em tramitação no Ministério do Meio Ambiente. Para melhor compreensão destes resultados a figura 35 apresenta as concentrações calculadas a partir da média de 08 horas. A partir da média de 08 horas, durante o período amostrado não foram registradas ultrapassagens do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990.

Para o cálculo do IQAr foram considerados os valores apresentados na tabela 11, conforme limite estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990.

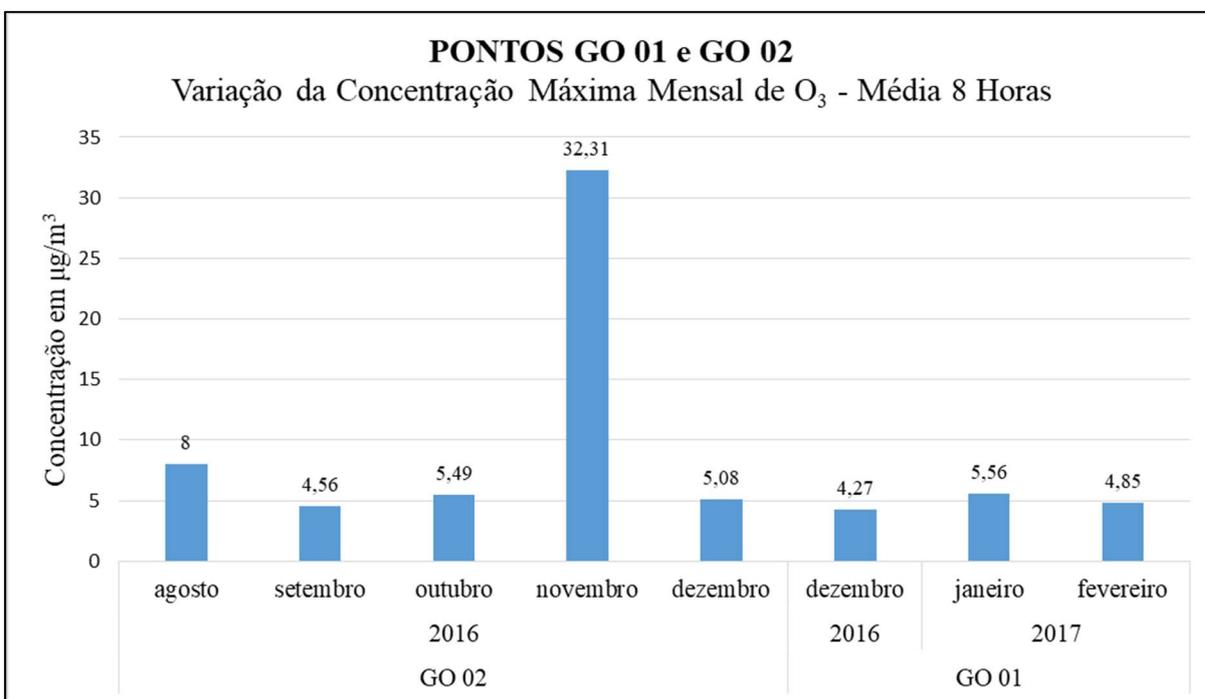
**Tabela 11 - Concentrações Máximas de O<sub>3</sub> nos pontos GO 01 e GO 02.**

**Amostragem Média de 01hora, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

<b>Ponto de Amostragem</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentração Média 1 hora (µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>GO 02</b>	Agosto	2016	201,14	160
	Setembro	2016	155,97	
	Outubro	2016	165,82	
	Novembro	2016	170,16	
	Dezembro	2016	153,58	
<b>GO 01</b>	Dezembro	2016	354,68	
	Janeiro	2017	339,83	
	Fevereiro	2017	311,50	



**Figura 34 - Concentrações Máximas de O<sub>3</sub> nos pontos de Amostragem.  
Média de 01 hora, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**



**Figura 35 - Concentrações Máximas de O<sub>3</sub> nos pontos de amostragem.  
Média de 08 horas conforme recomendação da OMS.**

#### 5.3.2.4. Monóxido de Carbono (CO)

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de CO com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990, são apresentadas na tabela 12.

Não houve registro de ultrapassagem ao padrão de qualidade do ar de CO em nenhum dos pontos de monitoramento. As máximas concentrações estiveram extremamente abaixo do padrão, por isso não foi gerado gráfico para esse parâmetro. A maior concentração, foi em novembro de 2016, no ponto de amostragem GO 02.

**Tabela 12 - Concentrações Máximas de CO nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 08 horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

Ponto de Amostragem	Mês	Ano	CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentração Média 8 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
GO 02	Agosto	2016	14,57	10.000
	Setembro	2016	9,04	
	Outubro	2016	13,86	
	Novembro	2016	19,33	
	Dezembro	2016	6,33	
GO 01	Dezembro	2016	5,85	
	Janeiro	2017	7,49	
	Fevereiro	2017	6,54	

#### 5.3.2.5. Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de NO<sub>2</sub> com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990, são apresentadas na Tabela 13.

Não houve registro de ultrapassagem ao padrão de qualidade do ar de NO<sub>2</sub> em nenhum dos pontos de monitoramento. As máximas concentrações estiveram abaixo do padrão, por isso não foi gerado gráfico para esse dado, a maior concentração de NO<sub>2</sub>, foi em dezembro de 2016, no ponto de amostragem GO 02.

**Tabela 13 - Concentrações Máximas de NO<sub>2</sub> nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 01 hora, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

Ponto de Amostragem	Mês	Ano	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentração Média 1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
GO 02	Agosto	2016	81,77	190
	Setembro	2016	82,41	
	Outubro	2016	115,01	
	Novembro	2016	138,24	
	Dezembro	2016	152,65	
GO 01	Dezembro	2016	15,18	
	Janeiro	2017	69,86	
	Fevereiro	2017	26,48	

### 5.3.2.6. Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de SO<sub>2</sub> com o padrão estabelecido pela legislação, são apresentadas na tabela 14.

Não houve registro de ultrapassagem ao padrão de qualidade do ar de SO<sub>2</sub> em nenhum dos pontos de monitoramento. As máximas concentrações estiveram bem abaixo do padrão, por isso não foi gerado gráfico para esse dado. A maior concentração, foi em agosto de 2016, no ponto de amostragem GO 02.

**Tabela 14 - Concentrações Máximas de SO<sub>2</sub> nos pontos GO 01 e GO 02. Amostragem Média de 24 horas, conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990.**

Ponto de Amostragem	Mês	Ano	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Padrão Diário de SO <sub>2</sub> Média 24 horas (µg/m <sup>3</sup> )
GO 02	Agosto	2016	3,5	365
	Setembro	2016	0,1	
	Outubro	2016	0,1	
	Novembro	2016	0,1	
	Dezembro	2016	0,1	
GO 01	Dezembro	2016	0,1	
	Janeiro	2017	0,1	
	Fevereiro	2017	0,0	

### 5.3.3. Índice de Qualidade do Ar - IQAr

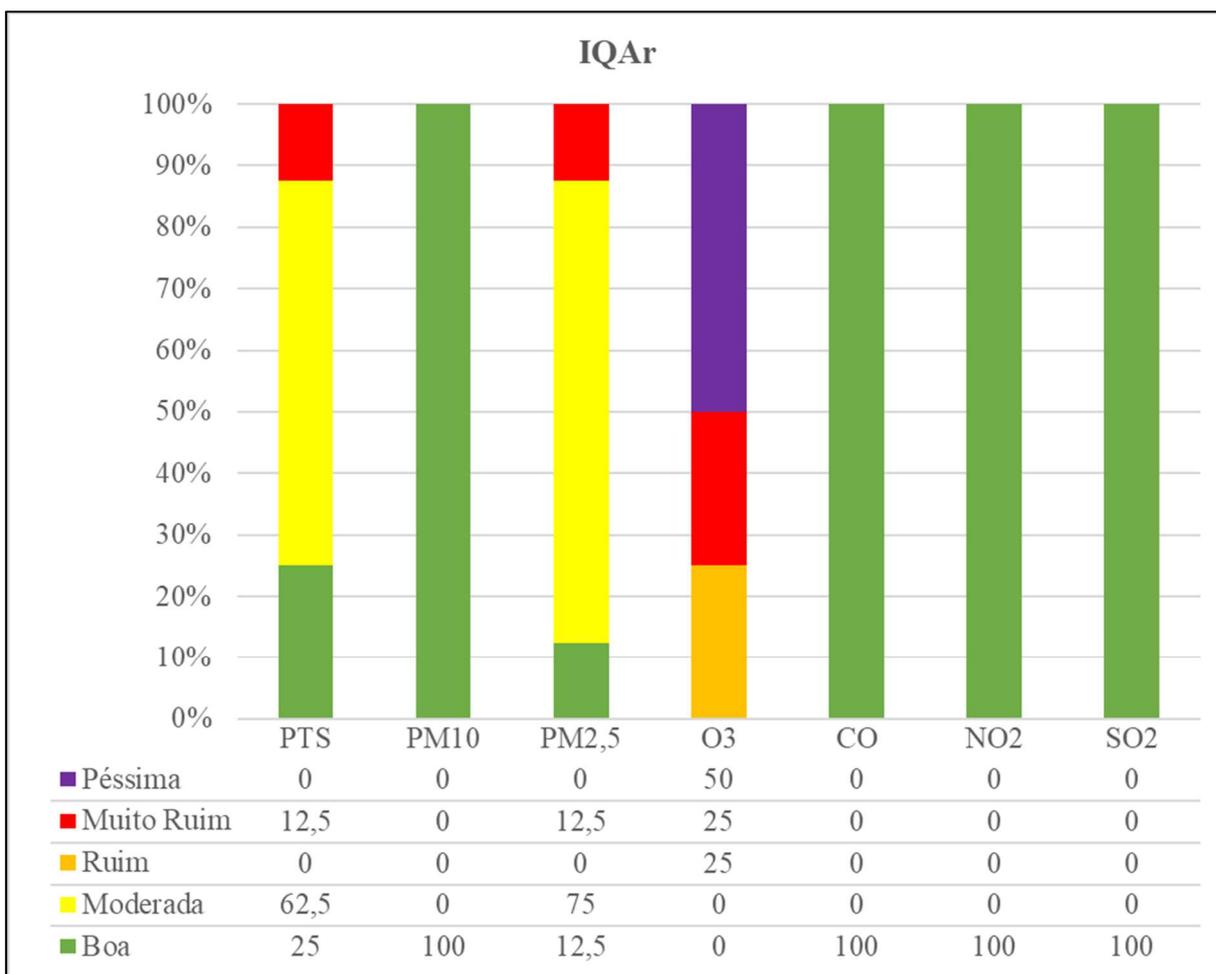
Para melhor compreensão do resultado obtido para aplicação do IQAr na bacia do Ribeirão Anicuns, a figura 36 apresenta a distribuição percentual do índice durante o período de amostragem.

As partículas totais em suspensão apresentaram classificação moderada em 62,5% no período amostrado em ambos os pontos monitorados (GO 02: agosto, outubro e novembro; GO 01: dezembro e janeiro). No mês de setembro o ponto GO 02 foi classificado como muito ruim, representando 12,5% do período de amostragem. No ponto GO 02 e GO 01 os meses de dezembro e fevereiro respectivamente estiveram dentro dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990, representando 25% do período amostrado.

As partículas inaláveis PM<sub>2,5</sub> apresentou classificação moderada para o IQAr em 75% do período amostrado em ambos pontos de monitoramento (GO 02: agosto, outubro e dezembro; GO 01: dezembro, janeiro e fevereiro). No mês de setembro o ponto GO 02 foi classificado como muito ruim, representando 12,5% do período de monitoramento. Somente no mês de novembro, o ponto GO 02, obteve a classificação do IQAr como boa, representando 12,5% do período amostrado.

O ozônio apresentou um percentual de ocorrência, com variação de ruim para péssimo, sendo classificado como ruim nos meses de setembro e dezembro (25%) e muito ruim nos meses outubro e novembro (25%), no ponto GO 02, representando 50% do período amostrado. O O<sub>3</sub>, apresentou o índice péssimo no mês de agosto no ponto GO 02 e durante todo o período monitorado no ponto GO 01, dezembro, janeiro e fevereiro, totalizando o 50% do período amostrado.

Nos pontos amostrados os gases CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e as partículas inaláveis PM<sub>10</sub> estiveram classificadas como boa, estando durante todo o período de monitoramento 100% dentro dos padrões determinados pela Resolução CONAMA 03/1990.



**Figura 36 - Índice de Qualidade do Ar - IQAr**

Conforme a característica climática da região, entre os meses de abril e setembro a região passa por um grande período de seca, marcado principalmente pela baixa na umidade do ar.

Com o aumento da concentração dos particulados na atmosfera, principalmente no mês de setembro, a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço,

ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Neste período, há maior incidência de doenças respiratórias no município de Goiânia (SMS, 2017).

Considerando o método de cálculo das médias de concentração de ozônio, estabelecidas pela Resolução CONAMA 03/1990, na maior parte do período amostrado a população da área de estudo pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como o aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.

Ressalta-se que a legislação vigente (CONAMA, 1990) considera como agravante a saúde a curta exposição a elevados picos de concentração de ozônio em baixas altitudes. A OMS (OMS, 2005) atualmente considera apenas a exposição contínua a altas concentrações deste poluente como prejudicial à saúde. Descartando os picos agudos de concentrações horárias, o ozônio na área estudada não se torna prejudicial à saúde.

#### **5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O monitoramento da qualidade do ar na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns foi realizado através de um método indicativo, com o uso de um amostrador automático denominado POD, fabricado pela AQMesh. Conforme limitações orçamentárias o período amostrado não foi de um ano conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990, tendo uma duração de apenas seis meses. Neste período as amostragens iniciaram no período seco e finalizando no período chuvoso, abrangendo assim as duas estações climáticas da região.

De uma forma geral, a avaliação dos resultados obtidos pelo uso do POD, no monitoramento da qualidade do ar demonstra que a situação geral do ar na cidade foi classificada como boa, com registro de episódios críticos de poluição atmosférica (conforme definido na Resolução CONAMA Nº 03/1990), para o parâmetro O<sub>3</sub>, considerando os métodos de cálculo estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990.

O ozônio é um poluente que tem se apresentado em elevados níveis de concentração, não apenas em Goiânia, mas em diversos centros urbanos do mundo, sendo este um problema crítico das grandes cidades (INEA, 2015).

Os únicos poluentes que apresentaram violações aos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 03/1990 foram as partículas totais em suspensão, as partículas inaláveis (PM<sub>2,5</sub>), e o O<sub>3</sub>. Essas ultrapassagens ocorreram principalmente no mês de setembro, período em que foi registrada a menor umidade relativa do ar, favorecendo a concentração de poluentes na atmosfera.

A área estudada não apresentou no período amostrado problemas de poluição relacionados à dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ao monóxido de carbono, mesmo

considerando que a região metropolitana de Goiânia possui diversos polos industriais e alta densidade urbana.

Recomenda-se a continuidade desse monitoramento, atendendo assim ao período indicado pela Resolução CONAMA 03/1990. A continuidade do monitoramento da qualidade do ar servirá para o aprimoramento das políticas públicas relacionadas ao controle da poluição do atmosférica.

## 5.5. AGRADECIMENTOS

À Prefeitura de Goiânia, Agência Municipal de Meio Ambiente, pelo financiamento concedido por meio do Programa de Gestão de Emissões de Goiânia para realização da pesquisa; à Embrasca Soluções Sustentáveis e POSTEC Tecnologia Ltda pelo fornecimento do equipamento utilizado no estudo; à Universidade de Brasília (UnB), Instituto Federal de Goiás (IFG), ao CNPq e a CAPES pelo suporte acadêmico.

## 5.6. REFERÊNCIAS

Alvares JR O M, Lacava C I V, Fernandes P S 2002. *Emissões Atmosféricas: Tecnologias e Gestão Ambiental*. SENAI, Brasília, 373 pp.

Borrego C, Costa A M, Ginja J, Amorim M, Coutinho M, Karatzas K, Sioumis Th, Katsifarakis N, Konstantinidis K, De Vito S, Esposito E, Smith P, André N, Gérard P, Francis L A, Castell N, Schneider P, Viana M, Minguillón M C, Reimringer W, Otjes R P, Von Sicard O, Pohle R, Elen B, Suriano D, Pfister V, Prato M, Dipinto S, Penza M 2016. *Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise*. Elsevier: Atmospheric Environment 147: 246-263.

Castell N, Dauge F R, Schneider P, Vogt M, Lerner L, Fishbain B, Broday D, Bartonova A 2017. *Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?*. Elsevier: Environment International 99: 293-302.

CONAMA Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990, dispõe sobre padrões da qualidade do ar*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em 20 de agosto de 2016.

Dapper, S. N.; Spohr, C.; Zanini, R. R. 2016. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estud. Av.* 30(86): 83-97.

EPA, United States Environmental Protection Agency 2014. *Air quality index: a guide to air quality and your healthy*. U.S. Environmental Protection Agency. Outreach and Information Division. Research Triangle Park. EPA-456/F-14-002, North Carolina, 12 pp.

Fishbain B, Lerner U, Castell N, Cole-Hunter T, Popoola O, Broday D M, Iñiguez T M, Nieuwenhuijsen M, Jovasevic-Stojanovic M, Topalovic D, Jones R L, Galea K S, Etzion Y, Kizel F, Golumbic Y N, Baram-Tsabari A, Tamar Yacobi T, Draehler D, Robinson J A, Kocman D, Horvat M, Svecova V, Arpaci A, Bartonova A 2017. *An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units*. Elsevier: Science of The Total Environment, 575: 639–648.

Freiberg M R. *Diagnóstico da Qualidade do Ar de Goiânia-GO*. Goiânia: Pontificia Universidade Católica de Goiás; 2009 [cited 2017 Jan 21]. Available from: <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/DIAGN%C3%93STICO%20DA%20QUALIDADE%20DO%20AR%20DE%20GOI%C3%82NIA-GO.pdf>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010 e Estimativa da População 2014*. [cited 2017 Fev 10]. Available from: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=520870>

INEA, Instituto Estadual do Meio Ambiente. *Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro, Ano Base 2015*. INEA, Rio de Janeiro. 2015. [cited, 2017 Fev 08]. Available from: [http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/@inter\\_dimfis\\_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edisp/inea0131852.pdf](http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edisp/inea0131852.pdf).

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990). [cited 2017, Mar 21]. Available from: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Programa de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais*. INPE, São Paulo. 2016. [cited, 2017 Fev 15]. Available from: <http://www.inpe.br/queimadas>

ITCO, Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste 2008. *Zoneamento ecológico-econômico do município de Goiânia*. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 377 p.

Jiao W, Hagler G, Williams R, Sharpe R, Brown R, Garver D, Judge R, Caudill M, Rickard J, Davis M, Weinstock L, Zimmer-Dauphinee S, Buckley K 2016. *Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States*. Atmospheric Measurement Techniques, 9: 5281-5292.

Köppen, W 1931. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 390 pp. In: Ayoade 2003. J.O. Introdução à Climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332pp.

OMS 2005. Who Air Guidelines Global Update. Reported in a Working Group Meeting, Scherfigsvej, DK-2100, Copenhagen, Denmark, 485 pp.

ONU [homepage on the internet]. United Nations Open Working Group on Sustainable Development Goals. United Nations Copyright.; 2016. [cited 2017 Jan 22]. Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/>

POSTEC, Postec Technology 2015. *Relatório do teste de Medições Automáticas de Gases, Partículas e Condições Atmosféricas POD AQMesh*. São Paulo: Postec Tecnologia Ltda, 18 p.

Ramos, A. M., Santos, L. A. R. dos; Fortes, L. T. G. (Orgs.) 2009. *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Edição Revista e Ampliada. Brasília: INMET, 465 p.

Ribeiro, T.G.; Boaventura, G.R.; Cunha, L.S.; Pimenta, S.M. 2016. Estudo da Qualidade das Águas por meio da Correlação de Parâmetros Físico-Químicos, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Brasil: *Geochimica Brasiliensis*, 30(1): 84-94.

Russo, P. R. 2010. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. *Revista de Ciências Humanas*, 10(1): 78-93.

SMS, Secretaria Municipal de Saúde de Goiânia. *Informativo: com o período seco Secretaria Municipal de Saúde atenta para cuidados com a saúde*. SMS, Goiânia. 2017. [cited, 2017 Fev 22]. Available from: <http://www.saude.goiania.go.gov.br/html/noticia/15/07/Com-periodo-seco-SMS-atenta-cuidados-saude.shtml>

## CAPÍTULO 6 – ÍNDICE QUALIDADE DO SOLO POR MEIO DE PARÂMETROS FÍSICOS E ORGÂNICOS <sup>16</sup>

---

### *INDEX SOIL QUALITY BY PHYSICAL AND ORGANIC PARAMETERS*

TIAGO GODOI RIBEIRO<sup>17</sup>

GERALDO RESENDE BOAVENTURA<sup>18</sup>

LUCIANO SOARES DA CUNHA<sup>19</sup>

JEAN CARLO DE SOUSA SILVA<sup>20</sup>

SILMARA DE CARVALHO BARBOSA<sup>21</sup>

SANDRO MORAIS PIMENTA<sup>22</sup>

#### **RESUMO**

O solo é um recurso natural essencial que exerce importantes funções ambientais, econômicas e sociais. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo na bacia do Ribeirão Anicuns, aplicando um modelo de baixo custo e fácil compreensão. Foi selecionado um conjunto de indicadores físicos e orgânicos para aplicação do IQS. Amostras em ecossistemas naturais, com mínima intervenção antrópica, foram coletadas e consideradas como *background*. Foi apresentado um novo modelo de cálculo do IQS, obtido a partir do produtório das diferenças entre os indicadores das áreas amostradas, em comparação com indicadores das áreas de *background*. Em geral, os solos da bacia do Ribeirão Anicuns apresentaram boa qualidade em relação às amostras de referência.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; valores de referência, indicadores de qualidade.

#### **ABSTRACT**

*Soil is an essential natural resource that performs important environmental, economic and social functions. The objective of this work was to evaluate soil quality in the Ribeirão Anicuns basin, applying a low cost and easy to understand model. A set of physical and organic indicators for the application of IQS was selected. Samples in natural ecosystems with minimal anthropogenic intervention were collected and considered as background. A new IQS calculation model was presented, obtained from the output of the differences between the indicators of the sampled areas, compared to indicators in the background areas. In general, the soils of the Ribeirão Anicuns basin presented good quality in relation to the reference samples.*

**Keywords:** Soil quality; Reference values, quality indicators.

---

<sup>16</sup> Artigo submetido: Revista Fronteiras. ISSN 2238-8869

<sup>17</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Aparecida de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Doutorando pelo Instituto de Geociências - IG, da Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. [godoiribeiro@gmail.com](mailto:godoiribeiro@gmail.com).

<sup>18</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>19</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>20</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Valparaíso, Valparaíso de Goiás, Goiás, Brasil.

<sup>21</sup> Especialista em Agroenergia pela ESALQ, Graduada em Agronomia pela UFG e em Gestão Ambiental pelo IFG, Goiás, Brasil.

<sup>22</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Goiânia, Goiânia, Goiás, Brasil.

## 6.1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural vital que desempenha as principais funções ambientais, econômicas e sociais e não é renovável dentro das escalas de tempo humanas. Desenvolve lentamente e muda gradualmente ao longo do tempo, mostrando grande variabilidade espacial.

O solo representa um meio complexo, o que dificulta a avaliação de sua qualidade. No passado, a avaliação da qualidade do solo (QS) estava ligada diretamente à produção agrícola e não havia relação com a ampla gama de funções e serviços que o mesmo desempenha (VRSCAJ *et al.*, 2008; SCHINDELBECK *et al.*, 2008).

Quando destinado à produção agrícola, sua qualidade é avaliada considerando a capacidade de suprir nutrientes para as plantas, suportar o crescimento e o desenvolvimento de raízes, proporcionar uma adequada atividade biológica, propiciar uma adequada estabilidade estrutural, resistir a erosão e reter água para as plantas (DORAN *et al.*, 1994, 1994).

Em geral a qualidade do solo deve ser considerada a partir de sua capacidade de funcionamento, dentro de limites de ecossistemas naturais ou gerenciados, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde e a habitação humana (DORAN *et al.*, 1994, 1994; KARLEN *et al.*, 1997; SINGER & EWING, 2000; USDA, 2001).

A qualidade do solo é um importante indicador da sustentabilidade; seu monitoramento é realizado por indicadores coletados ao longo do tempo, ou através da comparação com seus valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN *et al.*, 1994, 1994; SARRANTONIO *et al.*, 1996).

Os recursos do solo estão sob pressão crescente, o que pode comprometer sua qualidade. Fatores como processos erosivos, perdas de matéria orgânica, contaminação química, vedação, compactação, acidificação e deslizamentos são as principais ameaças à qualidade do solo, reduzindo a sua capacidade de produzir alimentos, fibras e energia. Além disso, o solo é um meio intermediário crítico para processos hidrológicos e biogeoquímicos, potencializando os efeitos de condições extremas e a incerteza na disponibilidade de recursos hídricos (LARSON e PIERCE, 1991; SCHINDELBECK *et al.*, 2008).

A qualidade do solo urbano deve ser avaliada para apoiar os serviços públicos na tomada de decisões, objetivando a boa gestão da qualidade ambiental. Os planejadores também devem ajustar suas decisões no sentido de ocupar o espaço urbano de forma sustentável. Para isso são necessários métodos simples e aplicáveis de avaliação da qualidade do solo (VRSCAJ *et al.*, 2008; SCHINDELBECK *et al.*, 2008).

Considerando os conceitos apresentados, é fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como: facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (USDA, 2001).

Embora existam vários métodos para avaliação da qualidade do solo, em geral esses modelos são de difícil aplicação, destacando a qualidade do solo para a produção agrícola, com aplicação direcionada principalmente para pesquisa. Destarte, devem ser desenvolvidos métodos para avaliação ambiental com aplicação rápida, a fim de que possam ser utilizados por instituições de fiscalização e controle ambiental, como órgãos de meio ambiente, organizações da sociedade civil, peritos e demais profissionais da área (ARAÚJO *et al.*, 2007).

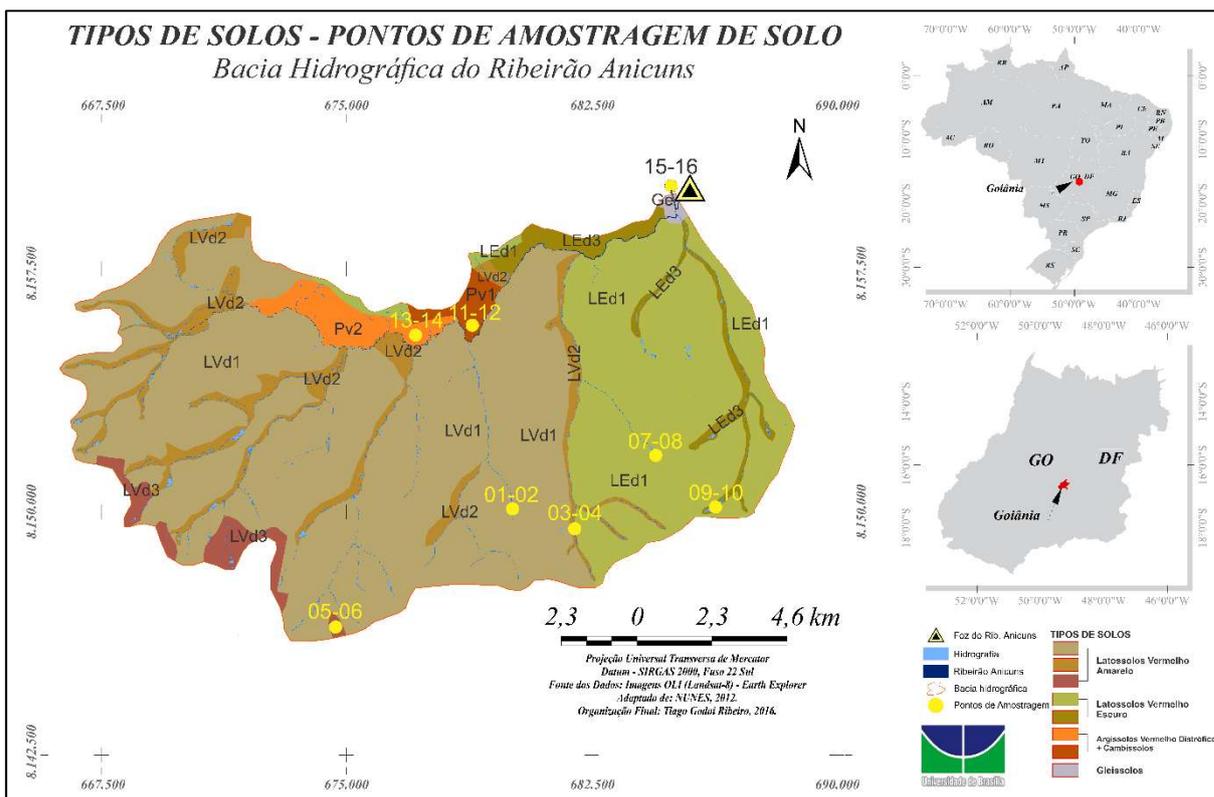
O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade do solo na bacia do Ribeirão Anicuns, aplicando o modelo proposto por Islan & Weil (2000). Para tanto, foi selecionado um conjunto de indicadores físicos e orgânicos. Foram coletadas amostras de solo em áreas naturais com o mínimo de perturbação, como referência (*background*) para determinação de um índice geral da qualidade do solo.

A relação entre as alterações naturais e as proporcionadas pela ação antrópica nos parâmetros geoquímicos envolve implicações importantes nas áreas da geologia, toxicologia e biologia, bem como em outros campos do conhecimento (GALUSZKA, 2007; RODRIGUES & NALINI JÚNIOR, 2009).

## **6.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.2.1. Coleta e Identificação dos Pontos de Amostragem**

Foram coletadas e analisadas amostras no horizonte A, no primeiro semestre do ano de 2017, em 16 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns, determinados pelos tipos de solo presentes na bacia (Figura 37 e Quadro 10). Para cada tipo de solo foram coletadas duas amostras, uma em ambiente natural (valores de *background*) e outra em um ambiente alterado (parques urbanos, lotes baldios).



**Figura 37 - Pedologia da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.**  
Adaptado de Nunes, 2012.

**Quadro 10 - Pontos de Amostragem de Solo, Bacia do Ribeirão Anicuns.**

Tipo de Solo	Amostra	Tipo de Amostra	Coordenadas UTM 22K	Referência de Localização
Latossolos Vermelho Amarelo	LVd1	1	680048-8150330	Mata Florença
		2	679943-8150414	Jardins Florença
	LVd2	3	681817-8148774	Parque Cascavel
		4	681712-8148989	Condomínios Cascavel
	LVd3	5	673990-8146193	Mata Setor Cristina
		6	673882-8146141	Setor Cristina
Latossolos Vermelho Escuro	LEd1	7	684447-8151750	Parque Vaca brava
		8	684477-8151904	Setor Bueno
	LEd3	9	686475-81502229	Jardim Botânico
		10	686369-8150378	Jardim Esmeralda
Argissolos Vermelho Distróficos + Cambissolos	PV1	11	679213-8156095	Mata Jardim Leblon
		12	679089-8156147	Jardim Leblon
	PV2	13	677067-8155095	Mata Quadra Isolada
		14	677354-8154881	Quadra Isolada
Gleissolos	Ge	15	685094-8159251	Mata Foz Anicuns
		16	685278-8159255	Fazenda Foz Anicuns

## **6.2.2. Caracterização da Área de Estudo**

O município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, possui 1.412.364 habitantes, sendo a capital estadual mais próxima à capital federal. Seu território possui 733,116 km<sup>2</sup>, situa-se na mesorregião do Centro Goiano e na Microrregião de Goiânia (IBGE, 2016).

Possui geomorfologia contínua, com poucos morros e baixadas, apresentando terras planas na maior parte de seu território. Em sua hidrografia destacam-se o Rio Meia Ponte e o Ribeirão Anicuns, seu principal afluente no território municipal (CASSETI, 1992).

A Bacia do Ribeirão Anicuns, possui uma área de drenagem de aproximadamente 199 km<sup>2</sup>, com comprimento total do curso d'água de 24 km. O Ribeirão Anicuns nasce na divisa dos municípios de Goiânia e Trindade, próximo ao Parque Eldorado Oeste, e sua nascente é formada pelos Córregos Forquilha e Quebra Anzol. O Ribeirão Anicuns tem, como principais afluentes pela margem direita, os córregos: Cavalo Morto, Taquaral, Macambira, Cascavel e Botafogo; e, pela margem esquerda, os córregos: da Cruz e Samambaia. Deságua na margem direita do Rio Meia Ponte (ITCO, 2008).

Estima-se que 70% da população da capital estejam ocupando a bacia do Ribeirão Anicuns, perfazendo aproximadamente 988 mil habitantes nessa localidade. Essa bacia apresenta problemas comuns a cursos d'água urbanos, tais como a deterioração da qualidade da água, enchentes, erosões e assoreamentos (ITCO, 2008).

### **6.2.2.1. Contexto Pedológico de Goiânia – Bacia do Ribeirão Anicuns**

Na região bacia do Ribeirão Anicuns podem ser verificadas quatro classes de solos distintas: Latossolos; Argissolos; Gleissolos; Cambissolos, conforme apresentado na figura 37 (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Os latossolos são solos minerais antigos, profundos e bem drenados. Na região ocorrem Latossolos Vermelho Amarelo distrófico (LVd1), (LVd2) e (LVd3), ambos com A moderado e textura argilosa. Encontrados em domínios de topografia plana (LVd1) à suavemente ondulada (LVd2) e ondulada a ondulado (LVd3). Latossolos Vermelho Escuro distróficos com A moderado e textura argilosa a muito argilosa (LEd1), são encontrados em relevo plano. Em áreas de relevo suave ondulado também são encontrados Latossolos Vermelho Escuro distrófico (LEd3) com textura argilosa (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Na região dos vales, onde o relevo sofre ruptura, os Latossolos são substituídos pelos Argissolos. Os Argissolos Vermelhos distróficos TB (PV), com A moderado, situam-se em relevo suave ondulado a ondulado com textura média argilosa. Os Cambissolos Háplicos eutróficos Tb cascalhento (CX1), com A moderado, localizam-se em relevo ondulado a forte

ondulado, com textura argilosa (CPRM, 1999; EMBRAPA, 2006; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Na porção nordeste da bacia, nos domínios da planície fluvial do ribeirão Anicuns, evidencia-se presença de Gleissolo Eutrófico, solo hidromórfico constituído por material mineral (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Geralmente nos locais de depressões ocorrem os solos aluviais ocupando pequenas faixas. Estes solos têm origem pela deposição de materiais predominantemente minerais, arrastados pela enxurrada e depositados nas partes baixas. Sua profundidade é variável e, por serem recentes, não apresentam diferenciação em horizontes (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Os cambissolos e litossolos, ambos associados a materiais concrecionários e pedregosos, são encontrados na região noroeste da bacia, onde o relevo apresenta alto grau de dissecação. Devido à topografia da região, os dois tipos de solo estão sujeitos a processos erosivos (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

Com origem nos depósitos de materiais orgânicos carregados e decompostos, os solos orgânicos ocorrem apenas em faixas descontínuas situadas ao longo dos leitos dos cursos d'água. São solos ácidos, devido à reação de decomposição dos materiais originários, sua coloração é escura e estão sempre sujeitos a alta umidade. Sua profundidade é variável e são pouco férteis (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

São verificadas ainda na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns Lateritas Hidromórficas, associadas às variações do lençol freático e à presença de grande concentração de óxidos de ferro (CPRM, 1999; MOREIRA, 2008; BRITO, 2011; NUNES, 2012).

### **6.2.3. Determinações em Laboratório**

As determinações dos parâmetros físicos e orgânicos foram realizadas pela Solocria Laboratório Agropecuário Ltda. As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros foram baseadas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997) e Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 2009). A Solocria participa dos programas de controle de qualidade de análises de solo promovidos, respectivamente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/SOLOS) e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

### **6.2.4. Escolha dos Indicadores de Qualidade do Solo**

Os indicadores escolhidos, conforme quadro 11, foram selecionados a partir das diretrizes para avaliação, planejamento e conservação da qualidade do solo, propostas pela

USDA (2001). O teste aplicado tem como objetivo avaliar a capacidade do solo de garantir o funcionamento dos ecossistemas em diferentes paisagens.

#### **Quadro 11 - Classificação dos Indicadores de Qualidade do Solo.**

<b>PARAMETROS DETERMINADOS POR AMOSTRAS DE SOLO</b>	
FÍSICOS	Textura, densidade aparente, densidade real, porosidade, CTC.
ORGÂNICOS	Matéria orgânica, carbono ativo, nitrogênio potencialmente mineralizável.

#### **6.2.5. Índice de Qualidade do Solo (IQS)**

A determinação da qualidade do solo se deu a partir da aplicação do IQS<sub>1</sub> proposto por Islan & Weil (2000). Para aplicação desse modelo foram consideradas as seguintes premissas básicas: por representar as condições ecológicas de equilíbrio ambiental, áreas naturais com mínima intervenção antrópica foram utilizadas como unidade de referência; parâmetros físicos e orgânicos possuem mesma ponderação; para cada categoria de atributos (físicos e orgânicos), os parâmetros apresentam a mesma importância relativa (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Islan & Weil (2000) avaliaram as mudanças de uso da terra em ecossistemas de floresta tropical, aplicando e modificando o índice de deterioração do solo (IDS), proposto anteriormente por Adejuwon e Ekanade (1988). Os autores partiram do princípio de que o status das propriedades individuais do solo sob plantios florestais e pastagem eram os mesmos para aqueles solos adjacentes sob floresta nativa, anterior ao processo de conversão. As diferenças entre as propriedades dos solos sob pastagem, comparadas à linha-base das propriedades do solo sob vegetação nativa, foram calculadas e expressas como a porcentagem da média dos valores individuais de cada propriedade a fim de compor o índice de deterioração do solo (IDS). (ISLAN & WEIL, 2000)

O índice IQS<sub>1</sub> foi calculado a partir das diferenças entre os parâmetros do solo das áreas a serem avaliadas, comparadas à linha base dos parâmetros das respectivas áreas de referência, sendo expressas como os desvios médios dos valores individuais de cada parâmetro. A média geral dos desvios de cada parâmetro do solo representa a sua deterioração em relação à referência. Para as amostras consideradas referenciais, foi atribuído o valor 1,0 para a qualidade do solo e sua diferença em relação à deterioração do solo nos outros pontos amostrados constitui o índice de qualidade do solo (IQS<sub>1</sub>) (FREITAS *et al.*, 2012).

O cálculo do IQS<sub>1</sub> ocorreu em duas etapas, conforme as equações 1 e 2.

$$Q_A = \frac{\left(\frac{w_1 - k_1}{k_1}\right) + \left(\frac{w_2 - k_2}{k_2}\right) + \left(\frac{w_3 - k_3}{k_3}\right) + \left(\frac{w_n - k_n}{k_n}\right)}{n} \quad (1)$$

$$IQS_1 = 1 - \left( \frac{Q_{af} + Q_{ao}}{2} \right) \quad (2)$$

Onde:  $Q_A$  representa os desvios médios dos indicadores de cada parâmetro em relação ao parâmetro referencial;  $w$  é o valor do indicador medido nas áreas em estudo;  $k$  é o valor do indicador medido na amostra de referência;  $n$  refere-se ao número de indicadores que compõem cada conjunto de parâmetros;  $Q_{af}$  é a média dos desvios dos parâmetros físicos do solo;  $Q_{ao}$  é a média dos desvios dos parâmetros orgânicos do solo.

### 6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das determinações dos parâmetros físicos e orgânicos, dos pontos amostrais foi possível calcular o Índice de Qualidade do Solo –  $IQS_1$ , da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Para melhor compreensão dos resultados as amostras de *background* foram nomeadas com as iniciais NT (sistemas naturais), coletadas em áreas de proteção ambiental com pouca interferência antrópica, e as amostras em ambiente completamente urbano, com muita interferência antrópica, foram nomeadas com as iniciais AT (antrópico).

Baseado nos dados granulométricos (tabela 15), os solos das oito áreas amostradas apresentaram, em média, 71 % de silte e 29 % de argila, e são agrupados nas classes: argila siltosa, franco siltoso argiloso, franco siltoso ou silte (EMBRAPA, 2006; JACOMINE, 2009).

**Tabela 15 - Classificação textural das amostras.**

CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	AMOSTRAS	Silte (%)	Argila (%)	Silte / Argila (%)	
Latossolo Vermelho Amarelo	LVd1	NT 1	53,00	47,00	1,13
		AT 2	70,00	30,00	2,33
	LVd2	NT 3	70,00	30,00	2,33
		AT4	60,00	40,00	1,50
	LVd3	NT 5	84,00	16,00	5,25
		AT6	72,00	28,00	2,57
Latossolo Vermelho Escuro	LEd1	NT 7	81,00	19,00	4,26
		AT8	91,00	9,00	10,11
	LEd3	NT 9	68,00	32,00	2,13
		AT 10	59,00	41,00	1,44
Argissolo Vermelho distrófico + Cambissolo	PV1	NT 11	84,00	16,00	5,25
		AT 12	58,00	42,00	1,38
	PV2	NT 13	70,00	30,00	2,33
		AT 14	86,00	14,00	6,14
Gleissolo	Ge	NT 15	70,00	30,00	2,33
		AT 16	69,00	31,00	2,23

As médias das variações entre os parâmetros determinados das amostras, foram calculados por médias geométricas, por se tratar de variação percentual. Para o cálculo das médias geométricas, foram considerados apenas os valores absolutos das variações.

Na tabela 16 são apresentados os valores encontrados nas determinações dos indicadores selecionados na classe de Latossolos Vermelhos Amarelos.

Nas amostras coletas em LVd1, LVd2 e LVd3, os indicadores físicos em geral apresentaram aumento nos atributos, nas áreas antropizadas em relação as naturais. Com relação aos indicadores orgânicos, observa-se aumento nas amostras AT 2 e AT6. Foi observado que esses pontos de amostragem passaram recentemente por intervenção antrópica, como plantio de vegetação para arborização urbana, justificando assim o aumento dos indicadores, devido ao preparo do solo para receber as mudas.

Nas amostras de LVd2 os indicadores orgânicos também apresentaram significativa diminuição nos ambientes antropizados. As amostras foram coletadas em um parque urbano (NT3) com vegetação nativa preservada, a amostra AT4 foi coletada próximo ao parque em um local onde estão sendo construídos edifícios residenciais, justificando o aumento dos atributos físicos, que favorecem a compactação do solo e redução dos indicadores orgânicos.

**Tabela 16 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Amarelo.**

PARAMÊTROS		Latossolos Vermelho Amarelo					
		LVd1		LVd2		LVd3	
		NT 1	AT 2	NT 3	AT 4	NT 5	AT 6
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,21	0,80	1,12	1,09	1,17
	DR (g/ml)	2,88	2,93	2,25	2,90	2,79	2,96
	POR (%)	60,00	59,00	64,00	61,00	61,00	60,00
	CTC (mE/100ml)	2,85	8,36	11,32	4,89	4,71	3,56
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,07	0,15	0,35	0,06	0,06	0,09
	MO (%)	1,30	2,70	7,30	1,30	1,30	1,70
	CA (%)	0,75	1,57	4,23	0,75	0,75	0,99

DA – Densidade aparente; DR – Densidade real; POR – Porosidade; NPM – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; MO – Matéria Orgânica; CA – Carbono Ativo.

Os resultados das amostras coletadas na classe Latossolo Vermelho Escuro, bem como as respectivas variações percentuais podem ser visualizadas na tabela 17.

Nas amostras coletas em LEd1 e LEd3, os indicadores físicos em geral apresentaram aumento nos atributos e significativa redução dos indicadores orgânicos, nas áreas antropizadas

em relação as naturais. As amostras AT8 e AT10 foram coletadas em bairros com alto adensamento populacional, principalmente com a verticalização das edificações.

Os resultados apresentados, mostram que nos ambientes antropizados o solo se apresenta mais compactado e com baixo teor dos indicadores orgânicos, dificultando assim o desenvolvimento de espécies vegetais, seja para recuperação das áreas, ou para implantação de arborização urbana.

Tanto o Nitrogênio Potencialmente Mineralizável quanto a Matéria Orgânica e o Carbono Ativo tiveram redução de aproximadamente 50% em AT8 e AT10, em comparação com seus respectivos *backgrounds*.

**Tabela 17 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Escuro.**

PARAMÊTROS		Latossolo Vermelho Escuro			
		LEd1		LEd3	
		NT7	AT8	NT9	AT10
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,03	1,35	1,18	1,17
	DR (g/ml)	2,53	3,00	2,88	1,90
	POR (%)	59,00	55,00	59,00	38,00
	CTC (mE/100ml)	6,46	6,52	6,50	3,74
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,12	0,06	0,19	0,09
	MO (%)	2,30	1,10	3,70	1,70
	CA (%)	1,33	0,64	2,15	0,99

**DA** – Densidade aparente; **DR** – Densidade real; **POR** – Porosidade; **NPM** – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; **CTC** – Capacidade de Troca de Cátions; **MO** – Matéria Orgânica; **CA** – Carbono Ativo; **LD** – Limite de Detecção.

A tabela 18 apresenta os valores encontrados nas determinações dos indicadores selecionados para as amostras coletas nas classes dos Argissolos Vermelhos distróficos + Cambissolos e Gleissolos, bem como a variação entre as amostras de áreas antropizadas e das amostras de *background*.

**Tabela 18 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos das amostras coletadas em áreas de Argissolo Vermelho + Cambissolo e Gleissolo.**

PARAMÊTROS	Argissolo Vermelho + Cambissolo				Gleissolo		
	PV1		PV2		Ge		
	NT 11	AT 12	NT 13	AT 14	NT 15	AT 16	
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,15	0,93	1,30	1,15	1,13
	DR (g/ml)	2,84	1,95	2,96	2,92	2,93	2,90
	POR (%)	59,00	41,00	69,00	55,00	61,00	61,00
	CTC (mE/100ml)	12,59	5,07	12,17	10,80	14,84	12,30
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,29	0,05	0,14	0,07	0,12	0,11
	MO (%)	5,10	0,90	2,60	1,60	2,30	2,30
	CA (%)	2,96	0,52	1,51	0,93	1,33	1,33

**DA** – Densidade aparente; **DR** – Densidade real; **POR** – Porosidade; **NPM** – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; **CTC** – Capacidade de Troca de Cátions; **MO** – Matéria Orgânica; **CA** – Carbono Ativo; **LD** – Limite de Detecção.

Em PV1 e PV2, os indicadores físicos e orgânicos apresentaram valores mais baixos nos ambientes antropizados quando comparados a seus respectivos *backgrounds*. As amostras AT 12 e AT 14 foram coletadas em ambientes antropizados, que atualmente estão sendo utilizados para práticas agropecuárias. Durante a coleta verificou-se que as áreas foram recentemente preparadas para renovação de pastagem, com gradeamento do solo, o que favorece a descompactação e redução dos teores orgânicos do solo.

Nos gleissolos, a variação dos parâmetros físicos foi baixa, bem como para os indicadores orgânicos, sendo que a porosidade encontrada no ambiente antropizado e seu respectivo *background* foi a mesma. A amostra AT 16, foi coletada em ambiente antropizado, atualmente utilizado para prática agropecuária. Esse ponto foi o que apresentou maior quantidade de vegetação natural, mesmo tendo sido modificado pela ação do homem, o que justifica a baixa variação dos indicadores determinados.

### 6.3.1. Índice de Qualidade do Solo (IQS)

Aplicando o modelo proposto por Islan & Weil (2000), pode-se concluir que houve significativa degradação da qualidade do solo nas áreas antropizadas em relação as áreas naturais (tabela 19). Na amostra AT2 o nível de degradação chegou a 80% em relação a amostra NT1, já AT4 o nível de degradação foi de 58% em relação a amostra NT3.

**Tabela 19 - Índice de Qualidade do Solo - Modelo de ISLAN & WEIL (2000).**

AMOSTRAS	SOLO	QA - Deterioração dos indicadores (atributos) em relação as ambientais naturais		IQS <sub>1</sub>
		FÍSICOS	ORGÂNICOS	
		NT1	LVd1	
AT2		0,50	1,10	0,20
NT3	LVd2	-	-	1,00
AT4		0,33	0,82	0,42
NT5	LVd3	-	-	1,00
AT6		0,10	0,38	0,76
NT7	LEd1	-	-	1,00
AT8		0,14	0,51	0,67
NT9	LEd3	-	-	1,00
AT10		0,28	0,54	0,59
NT11	PV1	-	-	1,00
AT12		0,31	0,83	0,43
NT13	PV2	-	-	1,00
AT14		0,18	0,42	0,70
NT15	Ge	-	-	1,00
AT16		0,05	0,03	0,96

O índice IQS<sub>1</sub> proposto por Islan & Weil (2000) é calculado a partir do somatório das diferenças entre os indicadores das áreas amostradas, comparadas à linha base dos indicadores das respectivas áreas de *background*. A média geral dos desvios de cada indicador é calculada por média aritmética. Considerando que os desvios médios representam a diferença percentual entre os indicadores de referência e os indicadores das áreas amostradas, temos que a forma mais representativa para cálculo do IQS é partir da média geométrica dos desvios de cada indicador.

Quando realizamos comparações de diferentes valores, para encontrar um único valor representativo, e cada valor possui múltiplas propriedades, em diferentes escalas numéricas, recomenda-se a aplicação da média geométrica. A aplicação da média geométrica normaliza a abrangência dos valores medidos (MITCHELL, 2004).

Com essas observações, foi aplicada uma nova forma de cálculo para o IQS, considerando todos os pressupostos apresentados por Islam & Weil (2000). Neste caso o índice de qualidade do solo IQS<sub>2</sub> foi calculado a partir do produtório das diferenças entre os indicadores das áreas amostradas, comparadas aos indicadores das áreas de *background*. A média geral dos desvios de cada indicador foi calculada a partir da média geométrica.

Nessa nova proposta o cálculo do Índice de Qualidade do Solo (IQS<sub>2</sub>) foi realizado conforme a equação 3.

$$IQS_2 = 1 - \left[ \prod_{i=1}^4 F \left( \frac{Fb_i - Fm_i}{Fb_i} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \prod_{j=1}^3 O \left( \frac{Ob_j - Om_j}{Ob_j} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Onde: **Fb<sub>i</sub>**, representa os indicadores físicos de referência; **Fm<sub>i</sub>**, representa os indicadores físicos medidos; **Ob<sub>j</sub>**, representa os indicadores orgânicos de referência; **Om<sub>j</sub>**, representa os indicadores orgânicos medidos; **i**, representa o indicador físico selecionado; **j**, representa o indicador orgânico selecionado.

Aplicando o IQS<sub>2</sub>, verificamos que também houve deterioração da qualidade do solo nas áreas antropizadas em relação as amostras de solo extraídas em áreas naturais (tabela 20). Ressalta-se que nessa proposta o IQS<sub>2</sub> teve significativa diferença entre os resultados obtidos no cálculo do IQS<sub>1</sub>. Tal diferença se justifica pois no novo modelo aplicado, as melhorias nos parâmetros medidos são consideradas, e a normalização dos valores equilibram o cálculo do índice.

**Tabela 20 - Índice de Qualidade do Solo (IQS<sub>2</sub>).**

AMOSTRAS	SOLO	Deterioração dos indicadores (atributos) em relação as ambientais naturais		IQS <sub>2</sub>
		FÍSICOS	ORGÂNICOS	
NT1	LVd1	-	-	1,00
AT2		0,07	1,10	0,72
NT3	LVd2	-	-	1,00
AT4		0,24	0,82	0,56
NT5	LVd3	-	-	1,00
AT6		0,07	0,37	0,85
NT7	LEd1	-	-	1,00
AT8		0,14	0,51	0,80
NT9	LEd3	-	-	1,00
AT10		0,14	0,54	0,72
NT11	PV1	-	-	1,00
AT12		0,15	0,83	0,65
NT13	PV2	-	-	1,00
AT14		0,11	0,42	0,79
NT15	Ge	-	-	1,00
AT16		0,01	0,08	0,97

Durante a aplicação do IQS<sub>2</sub>, verificamos que o erro de desvio no cálculo foi significativamente menor no modelo gerado a partir do produtório das diferenças entre os indicadores medidos, comparados aos indicadores de referência.

O erro de desvio foi calculado a partir dos dados de deterioração dos indicadores medidos em relação aos indicadores de referência (tabela 21). Utilizando os valores de deterioração dos indicadores e os valores de referência NT, calculou-se o valor esperado para os parâmetros medidos (amostras - AT). Com esse valor esperado e o valor propriamente medido, verificou-se o erro da média dos desvios dos parâmetros, a partir da equação 4 e 5.

O cálculo do erro da média dos desvios ocorreu em duas etapas, conforme as equações 4 e 5.

$$AT'_x = NT \cdot (1 + Q_x) \quad (4)$$

$$Erro(\%)_{Q_x} = 100 \cdot \frac{|AT'_x - AT_x|}{AT_x} \quad (5)$$

Onde: *AT*, refere-se aos parâmetros medidos nas áreas de atividades antrópicas; *NT*, refere-se aos indicadores de referência; *Q<sub>x</sub>*, refere-se aos valores de deterioração dos indicadores avaliados em relação as ambientais naturais.

**Tabela 21 - Erro de Desvio na aplicação dos modelos IQS<sub>1</sub> e IQS<sub>2</sub>**

MEDIDA	AMOSTRAS	SOLO	IQS <sub>1</sub> (%)	IQS <sub>2</sub> (%)
1	NT1 AT2	LVd1	5,45	4,19
2	NT3 AT4	LVd2	112,46	131,92
3	NT5 AT6	LVd3	4,65	4,53
4	NT7 AT8	LEd1	30,02	31,83
5	NT9 AT10	LEd3	119,61	99,38
6	NT11 AT12	PV1	228,10	188,14
7	NT13 AT14	PV2	56,99	50,66
8	NT15 AT16	Ge	5,10	6,75
<b>Média de Erro</b>			<b>30,12</b>	<b>29,06</b>

O IQS<sub>1</sub> se mostrou mais impreciso para determinar a qualidade do solo, apresentando um erro médio de desvio de aproximadamente 30%, enquanto o IQS<sub>2</sub> apresentou um erro médio de aproximadamente 29%.

Considerando os resultados apresentados no IQS<sub>2</sub>, os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, apresentam boa qualidade, o menor valor encontrado foi na amostra AT4, cujo IQS foi de 0,56, o que representa uma queda de 44% em relação ao valor de *background*.

A aplicação do IQS, mostrou-se eficiente para indicar as deteriorações causadas no solo, quando sistemas naturais são alterados. Esse sistema apresenta menor subjetividade e maior simplicidade de aplicação (FREITAS, 2012).

O IQS avalia a contribuição interativa de todos os indicadores, fornecendo uma avaliação abrangente da qualidade do solo, sendo uma ferramenta útil na tomada de decisões sobre as áreas a serem avaliadas.

#### **6.4. CONCLUSÕES**

A aplicação do IQS, utilizando indicadores físicos e orgânicos possibilitaram a avaliação da qualidade do solo de forma quanti-qualitativa e baixo custo. Normalmente a avaliação da qualidade do solo tem sido ligada à produção agrícola, desconsiderando a ampla gama de funções e serviços que o mesmo desempenha. A qualidade do solo deve ser avaliada considerando sua capacidade, para sustentar não só a produção, mas também para manter ou melhorar a qualidade da água, do ar e apoiar a saúde e a habitação humana.

O IQS<sub>2</sub> considera para cálculo o produtório dos desvios das diferenças entre os indicadores das áreas avaliadas, em relação aos valores dos indicadores das áreas de referência. O modelo proposto foi mais preciso que o modelo aplicado a partir do somatório dos desvios (ISLAM e WEIL, 2000), uma vez que apresenta menor erro médio, na comprovação estatística.

Os resultados encontrados, comprovam que o solo na bacia do Ribeirão Anicuns vem sofrendo diminuição de sua qualidade nas áreas urbanizadas. As áreas antropizadas em geral apresentam maior compactação do solo e diminuição dos indicadores orgânicos.

A compactação do solo é danosa para o desenvolvimento vegetal, pois influencia negativamente o crescimento de raízes, fazendo com que a planta tenha problemas em seu desenvolvimento. Dificultando assim o processo de arborização urbana. O aumento da compactação do solo nas áreas amostradas, influencia diretamente na capacidade de absorção de água pelo solo, prejudicando o processo de recarga das águas subterrâneas.

Determinar a qualidade do solo com base nos desvios dos indicadores em relação às áreas nativas é uma forma eficiente para refletir a variação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso, seja em áreas urbanas ou rurais.

## 6.5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Geociências Aplicadas da UnB, aos professores e técnicos Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da UnB, ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiás – IFG, ao CNPq e a CAPES.

## 6.6. REFERÊNCIAS

ADEJUWON, J.O.; EKANADE, O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt. *Catena*, v.15, 1988, p. 319-331.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um Solo sob Diferentes Usos e Sob Cerrado Nativo. Viçosa: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, 2007, p. 1099-1108.

BRITO, G. S. de. *Alterações ambientais decorrentes da presença de depósitos tecnogênicos na bacia hidrográfica do ribeirão Anicuns em Goiânia, GO*. Rio Claro: Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas., 2011, 141 p.

CASSETI, V. Geomorfologia do município de Goiânia-GO. Goiânia: *Boletim Goiano de Geografia*, v. 1, n. 12, 1992, p. 65-85.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia: CPRM, 1999, 181 p.

DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science of America Proceedings, n. 35, 1994, p. 107-124.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. EMBRAPA, 1997, 212 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 306 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*. 2ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 2009, 20 p.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, E. Índices de Qualidade do Solo sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo Florestal e Cerrado Nativo Adjacente. Fortaleza: *Revista de Ciência Agronômica*, v. 43, n. 3, 2012, p. 417-428.

GALUSZKA, A. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. *Environmental Geology*, v. 52, 2007, p. 861-870.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010 e Estimativa da População 2014. Brasília: Cidades-IBGE, s.n. 2016. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=520870>>. Acessado em 12 jan 2016.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicators properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation anagement. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 55, n. 01, 2000, p. 69-78.

ITCO, Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste. *Zoneamento ecológico-econômico do município de Goiânia*. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 2008, 377 p.

JACOMINE, P. K. T. A Nova Classificação Brasileira de Solos. In: *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, Recife, v. 5 e 6, 2008-2009, p. 161-179.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, defininition, and framework for evaluation (A guest editorial). Madison: *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, 1997, p. 4-10.

LARSON, W.E., PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality, evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok: IBSRAM Proceedings - International Board for Soil Research and Management, n. 12, v. 2, 1991, p. 175-203.

MITCHELL, D. W. (2004). More on spreads and non-arithmetic means. *The Mathematical Gazette*, v. 88, 2004, p. 142-144.

MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2008, 143 p.

NUNES, Fabrizia Gioppo. Modelagem Hidrológica e Técnicas de Geoprocessamento na Estimativa da Impermeabilização do Solo e Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns – Goiânia (GO). Goiânia: *Ateliê Geográfico*, n. 06, v. 02, 2012, p. 55-74.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JÚNIOR, H. A. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. Ouro Preto: *Revista da Escola de Minas*, v. 62, n. 2, 2009, p. 155-165.

SARRANTONIO, M; DORAN, J.W.; LIEBIG, M.A.; HALVORSON, J.J. On-farm assessment of soil quality and health. In: Doran, J.W. and Jones, A.J. (eds). *Methods for assessing soil quality*. Madison: *Soil Science of America*, 1996, p. 83-105.

SCHINDELBECK, R.R., ES H.M.V., ABAWI, G.S., WOLFE, D.W., WHITLOW, T.L., GUGINO, B.K., OMOLOLU, I.J., MOEBIUS-CLUNE, B.N. Comprehensive assessment of soil quality for landscape and urban management. New York: *Landscape and Urban Planning*, n. 88, 2008, p. 73-80.

SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: Summer, M.E. (Eds.). *Handbook of soil science*. New York: CRC Press. Section G, s.n., 2000, p. 271-298.

VRSCAJ, B., POGGIO, L., MARSAN, F. A. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. *Landscape and Urban Planning. Elsevier*. v. 88, Issues 2-4, 2008, p. 81-94.

USDA, United State Departament of Agriculture. *Soil quality test kit guide*. Washington: NRCS/ Soil Quality Institute, 2001, 48 p.

## CAPÍTULO 7 – INDICADORES GEOQUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUNS EM GOIÂNIA, GOIÁS <sup>23</sup>

### *GEOCHEMICAL INDICATORS IN THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL QUALITY: RIBEIRÃO ANICUNS HYDROGRAPHIC BOWL IN GOIÂNIA, GOIÁS*

TIAGO GODOI RIBEIRO<sup>24</sup>  
GERALDO RESENDE BOAVENTURA<sup>25</sup>  
LUCIANO SOARES DA CUNHA<sup>26</sup>  
JEAN CARLO DE SOUSA SILVA<sup>27</sup>  
SILMARA DE CARVALHO BARBOSA<sup>28</sup>  
SANDRO MORAIS PIMENTA<sup>29</sup>

#### RESUMO

Qualidade ambiental é conjunto de atributos e características do meio ambiente, generalizadas ou locais, na medida em que afetam os seres humanos e outros organismos. A avaliação da qualidade ambiental permite classificar um território em uma determinada categoria ou escala hierárquica, contribuindo na tomada de decisões. O modelo proposto neste estudo, teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, em Goiânia, capital do Estado de Goiás. A determinação da qualidade ambiental foi efetuada a partir da integração de indicadores geoquímicos, classificados em índices de qualidade da água, do ar e do solo. Os índices foram classificados em uma escala de 0 a 1 (0, baixa qualidade e 1, boa qualidade). O IQA apresentou um escore de 0.43, já o escore do IQAr foi de 0.79 e o IQS apresentou valor de 0.75. Os índices foram integrados de acordo com o modelo proposto para que a qualidade ambiental total fosse finalmente determinada. O índice de qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anicuns foi considerado de qualidade moderada, com um escore de 0,63. O modelo apresentado neste estudo pode ser replicado em diferentes áreas para a determinação da qualidade ambiental.

**Palavras-chave:** Qualidade Ambiental; indicadores geoquímicos, qualidade da água, qualidade do solo, qualidade do ar.

#### ABSTRACT

*Environmental quality is a set of attributes and characteristics of the environment, generalized or local, insofar as they affect humans and other organisms. The evaluation of the environmental quality allows to classify a territory in a certain category or hierarchical scale, contributing in the making of decisions. The objective of this study was to evaluate the environmental quality in the Ribeirão Anicuns river basin in Goiânia, capital of the State of Goiás. The environmental quality was determined through the integration of geochemical indicators, classified as quality indexes Water, air and soil. The indices were classified on a scale of 0 to 1 (0, low quality and 1, good quality). The IQA presented a score of 0.43, the IQAr score was 0.79 and the IQS score was 0.75. The indices were integrated according to the proposed model so that the total environmental quality was finally determined. The environmental quality index of the Ribeirão Anicuns basin was considered of moderate quality, with a score of 0.63. The model presented in this study can be replicated in different areas for the determination of environmental quality.*

**Keywords:** *Environmental Quality; geochemical indicators, water quality, soil quality, air quality.*

<sup>23</sup> Artigo submetido: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ISSN 1809-4457

<sup>24</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Aparecida de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Doutorando pelo Instituto de Geociências - IG, da Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. [godoiribeiro@gmail.com](mailto:godoiribeiro@gmail.com).

<sup>25</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>26</sup> Professor na Universidade de Brasília – UnB, Instituto de Geociências – IG, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC, Ala Central, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

<sup>27</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Valparaíso, Valparaíso de Goiás, Goiás, Brasil.

<sup>28</sup> Especialista em Agroenergia pela ESALQ, Graduada em Agronomia pela UFG e em Gestão Ambiental pelo IFG, Goiás, Brasil.

<sup>29</sup> Professor no Instituto Federal de Goiás – IFG, Campus Goiânia, Goiânia, Goiás, Brasil.

## 7.1. INTRODUÇÃO

O tema qualidade ambiental vem sendo debatido em diversos setores da sociedade, uma vez que, mudanças ambientais podem trazer consequências positivas ou negativas a qualidade de vida.

O ambiente urbano como habitat do homem é um complexo formado por componentes heterogêneos ligados entre si por processos físicos, químicos, biológicos e sociais. Atualmente as maiores alterações, ocasionadas pelo homem no ambiente natural, acontecem nas cidades. Poluição dos corpos hídricos, enchentes, poluição do solo, desconforto térmico, instabilidade de moradias, poluição atmosférica, falta de ordenamento e planejamento territorial são algumas consequências negativas nas alterações ambientais de uma paisagem (MARCUS & DETWYLER, 1972; SANTOS, 2007; RIBEIRO, 2013; TEZA, 2016).

Considerando este fato, refletir e colocar em prática novas formas de uso e ocupação do solo permitirá alcançar melhor qualidade de vida em um ambiente equilibrado. É imprescindível planejar as cidades considerando os elementos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos que a integram. Destarte, o modelo de desenvolvimento dos centros urbanos deve considerar a análise da qualidade ambiental, auxiliando a formulação de políticas públicas adequadas à capacidade de uso dos recursos naturais, garantindo a conservação ambiental e um ambiente equilibrado (RIBEIRO *et al.*, 2017).

Os primeiros estudos sobre a questão ambiental, começaram a avaliar o ambiente a partir das necessidades humanas básicas, com o tempo, à medida que a sociedade se desenvolveu, a chamada "conscientização ambiental", focou os estudos ambientais no impacto do homem sobre o meio ambiente (VASILE, 2011, RIBEIRO, 2013).

A definição de indicadores ambientais nas duas últimas décadas, destaca-se como instrumento para planejamento e avaliação da qualidade ambiental, formando políticas públicas, que facilitam a participação da sociedade (CEPAL, 2007; RIBEIRO, 2013).

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente, a qualidade ambiental é um termo geral para as propriedades e características do meio ambiente, mais generalizadas ou locais, na medida em que afetam os seres humanos e outros organismos (EEA, 1997, VASILE, 2011).

Analisando o alto grau de generalização, representatividade da informação ambiental e o aumento do volume de dados relativos ao meio ambiente, é necessário um nível mínimo de organização desses dados ao usar indicadores ambientais unitários, devido à subjetividade do fator humano na avaliação da condição dos fatores ambientais (MACHADO, 1997, LIMA, 2011, VASILE, 2011).

Ademais, é absolutamente necessário que a demanda por informações completas, reais e comparáveis seja atendida com base nos dados disponíveis ao avaliar problemas ambientais.

Portanto, é imprescindível um aprimoramento e acompanhamento periódico no uso de indicadores para avaliação da qualidade ambiental, por falta de um método único, universal e específico para defini-los. (FIDALGO, 2003; WEINS & SILVA, 2007, VASILE, 2011, RIBEIRO, 2013)

O objetivo deste trabalho, é apresentar um modelo de avaliação da qualidade ambiental, baseado em indicadores geoquímicos, para cidades que sofrem com problemas ambientais e que possuem características semelhantes, relacionadas ao processo de urbanização desordenado.

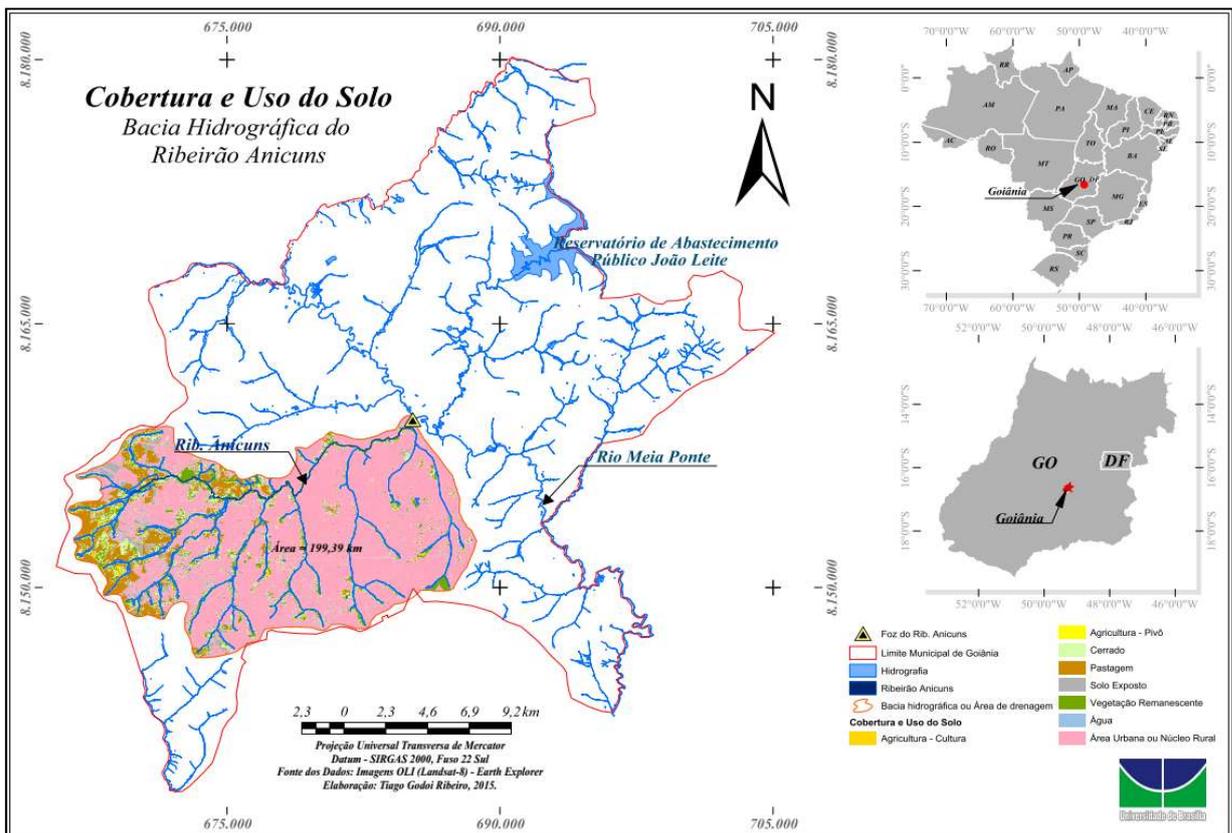
Nesta pesquisa o modelo será elaborado e aplicado no município de Goiânia, mais especificamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, localizado na região sudoeste da capital.

## **7.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **7.2.1. Caracterização da Área de Estudo**

Goiânia, capital do Estado de Goiás, situa-se na mesorregião do Centro Goiano, microrregião de Goiânia, seu território possui 733,116 km<sup>2</sup>, com 1.412.364 habitantes, é a capital estadual mais próxima da capital federal. A geomorfologia é contínua, com poucos morros e baixadas, apresentando terras planas na maior parte de seu território. Em sua hidrografia destaca-se o Ribeirão Anicuns, principal afluente no território municipal do Rio Meia Ponte. (CASSETI, 1992; IBGE, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016)

A Bacia do Ribeirão Anicuns (Figura 38), possui uma área de drenagem de aproximadamente 199 km<sup>2</sup>, com comprimento total do curso d'água de 24 km. O Ribeirão Anicuns nasce na divisa dos municípios de Goiânia e Trindade, próximo ao Parque Eldorado Oeste, e sua nascente é formada pelos Córregos Forquilha e Quebra Anzol. Os principais afluentes são os córregos, Salinas, Taquaral, Macambira, Cascavel e Botafogo (ITCO, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2016).



**Figura 38 - Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.**

**Fonte: RIBEIRO *et al.* (2016).**

Essa bacia apresenta problemas comuns a cursos d'água urbanos, tais como a deterioração da qualidade da água, enchentes, erosões e assoreamentos. Aproximadamente 70% (988 mil habitantes) da população da capital ocupa o território da bacia do Ribeirão Anicuns. (ITCO, 2008; IBGE, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016).

O município está localizado em uma região que possui clima, tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, e outra úmida, com chuvas torrenciais, que correspondem ao período de primavera e verão (KÖPPEN, 1931). Conforme as séries históricas das estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, instaladas na bacia do Ribeirão Anicuns, o período de estiagem compreende os meses de abril a setembro e o período chuvoso os meses de outubro a março (RAMOS *et al.*, 2009).

A bacia do ribeirão Anicuns tem como característica morfológica uma assimetria de drenagem e relevo que reflete um contato de litologias distintas marcado por falha geológica de direção Leste-Oeste. O substrato rochoso da bacia é formado por rochas do Paleoproterozóico, representadas pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, por rochas do Mesoproterozóico, representadas pelo Grupo Araxá –

Sul de Goiás e por Depósitos Aluvionares do Quaternário (CPRM, 1999; MOREIRA *et al.*, 2008; BRITO, 2011).

Podem ser verificadas quatro classes de solos distintas na região da bacia do ribeirão Anicuns: Latossolos, Argissolos, Gleissolos e Cambissolos (CPRM, 1999; NUNES, 2012).

A bacia hidrográfica do ribeirão Anicuns está situada no Planalto Rebaixado de Goiânia que, juntamente com o Planalto do Distrito Federal, o Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba e as Depressões Intermontanas, integra uma unidade geomorfológica maior, o Planalto Central Goiano (MAMEDE *et al.*, 1983; CASSETI, 1992).

Cinco unidades geomorfológicas de distribuição espacial estão presentes na bacia do ribeirão Anicuns: Planalto Embutido de Goiânia, Chapadas de Goiânia, Planalto Dissecado de Goiânia, Planícies de Inundação e Fundos de Vale (CASSETI, 1992).

### **7.2.2. Coleta e Pontos de Amostragem**

As amostragens de água superficial foram realizadas de forma sazonal, primeiro e segundo semestre de 2015, com o objetivo de descrever o comportamento dos corpos d'água ao longo dos períodos de chuva e estiagem. Foram coletadas e analisadas amostras em 12 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns e em alguns dos seus principais tributários (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Levando-se em consideração a área do município e a pressão antrópica, foram estabelecidos dois pontos de amostragem de ar, distribuídos na bacia do Ribeirão Anicuns, em locais com grande tráfego de veículos. As amostragens foram realizadas no período de agosto de 2016 a fevereiro de 2017, contemplando as variações sazonais do clima local.

As amostragens de solo foram coletadas no horizonte A, no primeiro semestre do ano de 2017, em 16 pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão Anicuns, determinados pelos tipos de solo presentes na bacia. Para cada tipo de solo foram coletadas duas amostras, uma em ambiente natural, com mínimo de alteração antrópica (valores de *background*) e outra em um ambiente alterado (Parques Urbanos, lotes baldios).

### **7.2.3. Determinações em Campo e Laboratório**

Nas amostras de água foram determinados os parâmetros temperatura, cor, turbidez, pH, totais de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade, amônia, sulfato, fosfato, nitrato, cloreto e fluoreto. Os procedimentos analíticos foram realizados nos Laboratórios de Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) e Laboratórios do Instituto Federal de Goiás (IFG) (RIBEIRO *et al.*, 2016).

As metodologias utilizadas nas análises químicas foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; 20ª edição da *American Public Health Association* (APHA, 1999), da *American Water Works Association* (AWWA, 1999), e da *Water Pollution Control Federation* (WPCF, 1999). O controle analítico dos resultados foi validado por amostra padrão de referência do laboratório, amostra de controle (branco) e o balanço iônico conforme Logan (1965). As curvas analíticas do cromatógrafo iônico foram preparadas com soluções padrões de 1000 ppm da marca Vetec, a partir delas foram feitas as diluições necessárias para cada elemento (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Foi utilizado método indicativo para determinação dos níveis de poluição atmosférica na bacia do Ribeirão Anicuns em Goiânia. As amostragens foram realizadas através do equipamento POD da AQMesh, com capacidade de determinar cinco tipos de gases, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e três padrões atmosféricos. Foram monitorados os seguintes parâmetros: dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP 10, MP 2,5), temperatura (°C), pressão atmosférica (mbar), umidade relativa do ar (%). Os gases foram medidos por sensores eletroquímicos, que permitem compensação por fatores ambientais com sensibilidade à 5ppb. O PTS e as partículas inaláveis foram medidas por sensor ótico, através do espalhamento da luz pelas partículas e na detecção deste espalhamento, para sua mensuração. O micro sensor POD da AQMesh foi calibrado a partir de uma estação de referência do CETESB (POSTEC, 2015).

Nas amostras de solo foram determinados os parâmetros: textura, densidade aparente, densidade real, porosidade, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, zinco, cobre, ferro, manganês, sódio, boro, enxofre, nitrogênio potencial mineralizável, CTC, matéria orgânica, carbono ativo. Esses indicadores foram selecionados a partir das diretrizes para avaliação, planejamento e conservação da qualidade do solo, proposto pela USDA (2001).

Os procedimentos analíticos foram realizados pela Solocria Laboratório Agropecuário Ltda. As metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros foram baseadas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997) e Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 2009). O laboratório participa dos programas de controle de qualidade de análises de solo promovidos, respectivamente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/SOLOS) e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

#### 7.2.4. Índices de Qualidade

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi calculado a partir da adaptação do modelo proposto Pimenta (2016). O modelo fundamenta-se no peso da evidência (teorema de Bayes: descreve a probabilidade de um evento, baseado em um conhecimento a priori que pode estar relacionado ao evento), utilizando métodos qualitativos ou quantitativos, apresentando conclusões sobre questões relacionadas com o grau de comprometimento ou risco ambiental. (LINKOV *et al.*, 2009; PIMENTA, 2016)

Para isso foram utilizados valores numéricos e atribuição de pesos e critérios de indexação (quadro 12), na interpretação dos resultados que correspondem às linhas de evidências.

As respostas da interpretação receberam uma nota (n) por escala arbitrária (0 a 1). Quando a interpretação dos resultados estiver tendendo  $\leq 0$  haverá menor relação com a resposta,  $\geq 1$  relações fortes com a resposta da interpretação (PIMENTA, 2016). Considerando as diferenças de concentração dos parâmetros durante os períodos de estiagem e chuva, Pimenta (2016), atribui pesos para cada período de coleta, sendo 0,3 para o período chuvoso e 0,2 para o período de estiagem.

#### Quadro 12 – Diagrama Lógico da Relação das Evidências.

Adaptado de Pimenta (2016).

Método Aplicado	PESO	Interpretação dos Resultados (Intensidade de 0 a 1)	Cálculo aplicado
	1	Maiores aferições nos parâmetros físico-químicos em relação aos demais pontos;	
Análises físico-químicas	1	Correlação entre parâmetros indicativos de alterações de origem antrópica	$\Sigma NFQ \times PFQ \times PHFQ$
	1	Aferições nos parâmetros físico-químicos indicativos de atividades antrópicas	

**Onde:** *NFQ* é a nota atribuída entre 0 a 1 para as respostas físico-químicas; *PFQ* é o peso de cada resposta físico-química e *PHFQ* é o período hidrológico físico-químico (0,3 para chuvoso – 0,2 para seco).

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr) foi obtido aplicando o modelo proposto pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, 2014), baseado em uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar e os critérios para episódios agudos da poluição estabelecidos pelo CONAMA (1990).

A função que relaciona a concentração do poluente com o valor do índice resulta em um número adimensional referido a uma escala com base nos padrões de qualidade do ar, variando de 0 a 1, indicando os níveis de poluição. Os valores de cada indicador do IQAr e a

influência da qualidade do ar na saúde da população podem ser visualizados na tabela 22 e quadro 13.

**Tabela 22 - Índice de Qualidade do Ar – IQAr (EPA, 2014).**

ESTRUTURA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR								
QUALID.	ÍNDICE	PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h
<b>Boa</b>	1	0-80	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
<b>Moderada</b>	0,75	81-240	51-100	26-50	101-130	10-11	201-240	21-40
<b>Ruim</b>	0,5	241-374	101-150	51-75	131-160	12-13	241-320	41-365
<b>Muito ruim</b>	0,25	375-624	151-250	76-125	161-200	14-15	321-1130	366-800
<b>Péssima</b>	0	≥ 625	≥ 251	≥126	≥201	≥16	≥1131	≥801

**Quadro 13 - Índice Geral de Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde da População.**

**Adaptado de EPA (2014).**

QUALIDADE	ÍNDICE	SIGNIFICADO
Boa	1	Praticamente não há riscos à saúde.
Moderada	0,75	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Ruim	0,5	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito ruim	0,25	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	0	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

O Índice de Qualidade do Solo (IQS) foi calculado a partir dos pressupostos de Islan & Weil (2000), que avaliaram as mudanças de uso da terra em ecossistemas de floresta tropical, aplicando e modificando o índice de deterioração do solo (IDS), proposto anteriormente por Adejuwon e Ekanade (1988). Considera-se que as características individuais do solo sob plantios florestais e pastagem eram os mesmos para aqueles solos contíguos sob floresta nativa, anterior ao processo de conversão. As diferenças entre as propriedades dos solos sob pastagem, comparadas à linha-base das propriedades do solo sob vegetação nativa, foram calculadas e

expressas como a percentagem da média dos valores individuais de cada propriedade afim de compor o índice de deterioração do solo (IDS) (ISLAN & WEIL, 2000).

O índice de qualidade do solo IQS foi calculado a partir do produtório das diferenças entre os indicadores das áreas amostradas, comparadas aos indicadores das áreas de *background*. A média geral dos desvios de cada indicador foi calculada a partir da média geométrica, conforme a equação 6.

$$IQS_2 = 1 - \left[ \prod_{i=1}^4 F \left( \frac{Fb_i - Fm_i}{Fb_i} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \prod_{j=1}^3 O \left( \frac{Ob_j - Om_j}{Ob_j} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Onde: **Fb<sub>i</sub>**, representa os indicadores físicos de referência; **Fm<sub>i</sub>**, representa os indicadores físicos medidos; **Ob<sub>j</sub>**, representa os indicadores orgânicos de referência; **Om<sub>j</sub>**, representa os indicadores orgânicos medidos; **i**, representa o indicador físico selecionado; **j**, representa o indicador orgânico selecionado.

### 7.2.5. Modelo de Integração dos Índices de Qualidade (IQAmb)

A dificuldade de compreender o funcionamento do sistema que se deseja modelar, é o primeiro obstáculo a ser superado, para isso há necessidade de dados que sejam satisfatórios para responder as questões impostas pelo próprio modelo (TEZA, 2016).

Diversos estudos buscam a integração entre dados heterogêneos das análises ambientais. Normalmente esses modelos são elaborados para aplicações específicas sem a utilização de valores precisos. (DAGNINO *et al.*, 2008; SEMENZIN *et al.*, 2008; LINKOV *et al.*, 2009; BENEDETTI *et al* 2011; TEZA, 2016; PIMENTA, 2016).

O modelo proposto sintetiza três índices ambientais, para formação do índice de qualidade ambiental (IQAmb), fundamentado na clara definição de indicadores geoquímicos da qualidade da água, do ar e do solo.

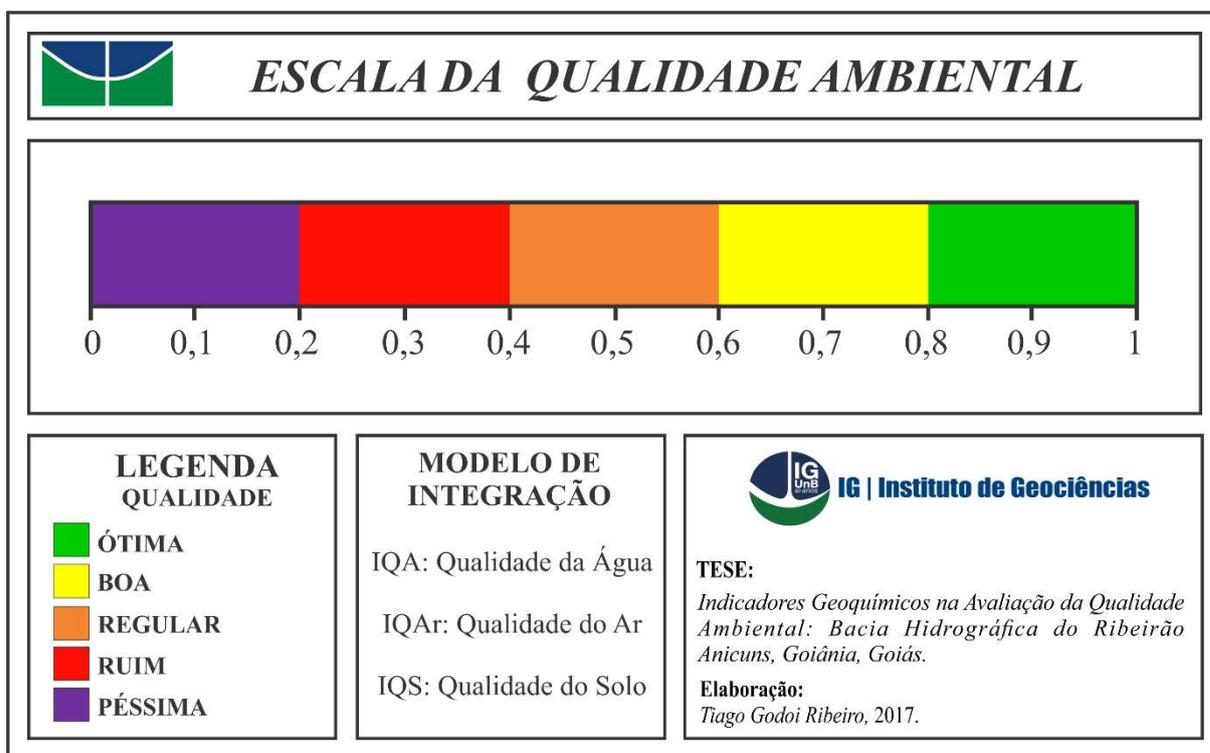
Para a integração dos índices geoquímicos selecionados e formação do IQAmb, os valores encontrados foram convertidos em uma escala única de valores. A escala tem variação de 0 a 1, representando, respectivamente, o pior e o melhor valor de qualidade ambiental para cada indicador (RIBEIRO, 2013).

O IQAmb foi calculado a partir do produto dos índices geoquímicos selecionados (IQA, IQAr e IQS), elevado ao número de indicadores (3), expresso pela equação 7:

$$IQAmb = \sqrt[3]{IQA.IQAr.IQS} \quad (7)$$

Onde, *IQA* é o resultado da aplicação do índice de qualidade da água, *IQAr* é o resultado da aplicação do índice de qualidade do Ar e o *IQS* é o valor encontrado para a qualidade do solo.

A classificação final das condições ambientais da área estudada é representada graficamente em uma escala (figura 39) que integra os três índices (*IQA*, *IQAr* e *IQS*), permitindo melhor compreensão do resultado encontrado para o *IQAmb*.



**Figura 39 - Escala da Qualidade Ambiental.**

## 7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.3.1. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Os passivos ambientais provenientes de atividades antrópicas, contribuem significativamente para mudanças na qualidade da água da bacia do Ribeirão Anicuns. Essas alterações são observadas principalmente, nas áreas de preservação permanente com ausência de cobertura vegetal ou lançamentos de efluentes domésticos e resíduos sólidos. (RIBEIRO *et al.*, 2016)

Os resultados das determinações físico-químicas são apresentados na tabela 23, sendo a melhor qualidade da água medida no ponto de amostragem P08 (nascente do córrego Botafogo). Neste ponto verifica-se que apenas o pH e o  $\text{PO}_4^{3-}$  estão ultrapassando os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. O ponto amostrado fica no Jardim Botânico

de Goiânia, uma área de proteção ambiental com bom grau de preservação. Ressalta-se que a presença de fosfato na amostra, indica ação antrópica, considerando que esse parâmetro possui origem geológica.

Os pontos P01, P09 e P10, amostrados em áreas de nascente, apresentam em geral bons resultados, mas indicam alterações de origem antrópica. O P09 está localizado na região do Parque Cascavel, essa região tem sofrido com o processo de adensamento populacional, a partir da verticalização das construções, (implantação de prédios residenciais). O P10 está localizado na área de implantação do Parque Municipal Macambira Anicuns, no período amostrado estavam sendo realizadas intervenções urbanas para implantação do parque. Essas intervenções justificam as fortes alterações nos parâmetros,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_3$  no ponto P09 e P10 (RIBEIRO *et al.*, 2016)

Os resultados encontrados para os parâmetros  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{Cl}^-$ , indicam contaminação do corpo hídrico pelo lançamento de esgotos sanitários. Considerando as características geológicas da região esses parâmetros não sofrem contribuições da geologia local (RIBEIRO *et al.*, 2016).

**Tabela 23 - Parâmetros físico-químicos períodos chuva/seca, Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO (RIBEIRO *et al.*, 2016).**

BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS, GOIÂNIA-GO.												
PONTOS DE AMOSTRAGEM – PERÍODO CHUVOSO												
Parâmetros (unidades)	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12
Temperatura (°C)	21,90	22,10	22,10	23,70	24,20	24,60	23,50	25,30	24,00	21,60	23,30	24,90
Cor (uH)	12,00	14,00	15,00	24,00	29,00	53,00	25,00	<LD	3,00	10,00	13,00	21,00
Turbidez (NTU)	22,00	26,00	28,00	44,00	55,00	118,00*	46,00	1,00	7,00	19,00	25,00	57,00
pH	5,50	5,80	5,87	6,08	6,03	6,27	6,19	4,81*	5,76	5,63	6,01	6,23
T.S.D (mg/L)	7,40	27,90	27,80	30,40	47,00	72,60	80,60	14,80	25,30	5,90	28,20	21,30
C.E (ms/cm)	16,55	59,40	59,10	64,60	99,00	152,20	168,80	32,10	53,90	13,33	59,90	39,80
O. D (mg/L)	6,50	6,80	6,70	6,40	5,80*	5,30*	5,70*	6,60	5,20*	5,90*	6,90	7,90
Alcalinidade - $\text{HCO}_3^{-1}$ (mg/L)	5,00	13,00	14,00	14,00	19,00	26,00	28,00	2,00	8,00	4,00	15,00	19,00
Amônia - $\text{NH}_3$ (mg/L)	0,22	0,38	0,23	0,42	1,26	2,08	1,53	<LD	<LD	0,14	0,44	0,85
Sulfato - $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	0,50	1,10	1,43	1,86	4,98	7,44	6,77	0,36	0,46	0,00	0,81	0,20
Fosfato - $\text{PO}_4^{3-}$ (mg/L)	<LD	<LD	<LD	0,20*	0,32*	0,63*	0,35*	0,05*	0,01	0,01	<LD	<LD
Nitrato - $\text{NO}_3^{-1}$ (mg/L)	<LD	1,16	1,97	2,76	4,27	9,08	15,49*	8,42	11,69*	<LD	3,33	<LD
Cloreto - $\text{Cl}^-$ (mg/L)	0,86	3,81	2,70	2,80	4,57	8,64	10,78	2,22	4,40	0,52	1,45	0,89
Fluoreto - $\text{F}^-$ (mg/L)	0,04	0,05	0,06	0,06	0,10	0,09	0,12	0,04	0,05	0,10	0,07	0,07
PONTOS DE AMOSTRAGEM - PERÍODO SECO												
Temperatura (°C)	27,10	30,00	28,00	28,80	30,30	29,90	29,40	28,50	28,60	29,60	32,00	32,00
Cor (uH)	11,00	8,00	7,00	5,00	18,00	9,00	5,00	<LD	2,00	<LD	4,00	16,00
Turbidez (NTU)	19,00	16,00	15,00	15,00	33,00	17,00	10,00	<LD	6,00	<LD	8,00	31,00
pH	5,31*	6,37	6,40	6,31	6,77	6,40	6,62	5,21*	5,66*	5,52*	5,91*	6,91
T.S.D (mg/L)	5,80	41,30	34,30	34,50	68,00	60,50	66,80	9,60	7,20	17,50	22,40	13,20
C.E (ms/cm)	13,30	87,30	72,70	73,20	142,70	127,00	140,30	21,20	16,24	37,70	47,90	28,80
O. D (mg/L)	6,00	4,00*	8,90	8,70	1,70*	2,70*	3,10*	8,40	8,40	9,70	6,80	7,70
Alcalinidade - $\text{HCO}_3^{-1}$ (mg/L)	1,00	4,00	3,00	3,00	7,00	9,00	17,00	1,00	2,00	3,00	4,00	12,00
Amônia - $\text{NH}_3$ (mg/L)	0,25	0,92	0,49	0,55	8,60*	5,20*	7,00*	0,07	0,06	<LD	0,76	0,25
Sulfato - $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	<LD	4,23	2,87	3,25	7,86	6,16	6,35	0,35	0,34	0,72	1,97	0,99
Fosfato - $\text{PO}_4^{3-}$ (mg/L)	0,22*	0,24*	<LD	<LD	1,27*	0,89*	0,72*	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Nitrato - $\text{NO}_3^-$ (mg/L)	<LD	0,51	5,02	5,18	<LD	3,53	5,85	7,46	0,66	13,88*	1,39	<LD

Cloreto - Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0,95	10,66	7,89	7,62	16,14	12,25	14,02	2,13	1,49	2,41	2,05	1,46
Fluoreto - F <sup>-</sup> (mg/L)	<LD	<LD	0,09	0,07	0,18	0,13	<LD	0,05	0,04	0,04	0,13	0,06

Obs.: Resultados abaixo do limite de detecção (<LD); NTU= *Nephelometric Turbidity Unity* (unidade nefelométrica de turbidez); uH= unidade Hazen; (\*) – valores fora do estabelecido pela CONAMA 357/2005, corpos de água doce classe 02.

Foi aplicada a correlação de Spearman (R), o coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa uma forte relação e serão utilizados para avaliação. Todas as variáveis estudadas apresentaram correlação superior a 0,5 com pelo menos três outras variáveis. As tabelas 24 e 25 apresentam a matriz de correlação aplicada. (COHEN, 1988; HELENA *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2016)

**Tabela 24 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período chuvoso (RIBEIRO *et al.*, 2016).**

	Temp	Cor	Turb	pH	TSD	CE	OD	Alc	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
Temp	1													
Cor	-	1												
Turb	-	0,96	1											
pH	-	0,89	0,93	1										
TSD	-	0,81	0,68	0,75	1									
CE	-	0,81	0,68	0,75	1	1								
OD	-	-	-	-	-	-	1							
Alc	-	0,89	0,89	0,94	0,83	0,83	-	1						
NH <sub>3</sub>	-	0,93	0,92	0,91	0,81	0,81	-	0,95	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	0,81	0,64	0,61	0,92	0,92	-	0,71	0,72	1				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-	0,60	0,60	-0,77	-	-	0,58	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	0,64	0,64	-0,63	-	-	0,54	0,70	1		
Cl <sup>-</sup>	-	0,60	-	0,51	0,85	0,85	-0,59	0,61	0,53	0,81	0,68	0,81	1	
F <sup>-</sup>	-	0,63	0,59	0,64	0,52	0,52	-	0,69	0,69	-	-	-	-	1

Obs.: (-) abaixo do nível de significância; Temp (°C)-Temperatura; Cor (uH); Turb (NTU)-Turbidez; TSD (mg/L)-Totais de sólidos dissolvidos; CE (ms/cm)-Condutividade elétrica; OD (mg/L)-Oxigênio dissolvido; Alc (mg/L)-Alcalinidade; NH<sub>3</sub> (mg/L)-Amônia; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/L)-Sulfato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(mg/L)-Fosfato; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)-Nitrato; Cl<sup>-</sup>(mg/L)-Cloreto; F<sup>-</sup>(mg/L)-Fluoreto.

**Tabela 25 - Matriz de correlação de Spearman (R) entre os parâmetros físico-químicos, no período estiagem (RIBEIRO *et al.*, 2016).**

	Temp	Cor	Turb	pH	TSD	CE	OD	Alc	NH <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
Temp	1													
Cor	-	1												
Turb	-	1	1											
pH	0,55	0,67	0,65	1										
TSD	-	-	-	0,68	1									
CE	-	-	-	0,68	1	1								
OD	-	-0,63	-0,61	-	-0,54	-0,54	1							
Alc	0,73	-	-	0,87	0,72	0,72	-0,56	1						
NH <sub>3</sub>	-	0,55	0,54	0,65	0,88	0,88	-0,80	0,69	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	0,74	0,99	0,99	-0,58	0,76	0,90	1				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	0,60	0,58	-	0,67	0,67	-0,90	-	0,78	0,67	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-0,79	-0,79	-	-	-	0,52	-	-	-	-	1		
Cl <sup>-</sup>	-	-	-	0,52	0,94	0,94	-	0,53	0,76	0,92	0,67	-	1	
F <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Obs.: (-) abaixo do nível de significância; Temp (°C)-Temperatura; Cor (uH); Turb (NTU)-Turbidez; TSD (mg/L)-Totais de sólidos dissolvidos; CE (ms/cm)-Condutividade elétrica; OD (mg/L)-Oxigênio dissolvido; Alc (mg/L)-

Alcalinidade; NH<sub>3</sub> (mg/L)-Amônia; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/L)-Sulfato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(mg/L)-Fosfato; NO<sub>3</sub><sup>-1</sup>(mg/L)-Nitrato; Cl<sup>-</sup>(mg/L)-Cloro; F<sup>-</sup> (mg/L)-Fluoreto.

A aplicação do modelo de integração de métodos de análise proposto por Pimenta (2016), é apresentada na tabela 26. Os valores encontrados para o IQA foi de 0,55 e 0,31, para os períodos de chuva e estiagem respectivamente. O escore IQA final foi 0,43. Os valores foram atribuídos considerando as linhas de evidencia a partir dos resultados das determinações físico-químicas.

**Tabela 26 – Aplicação do IQA. Adaptado de Pimenta (2016)**

<b>APLICAÇÃO DO IQA</b>														
<b>RESPOSTAS</b>	<b>Peso</b>	<b>Interpretação dos Resultados 0 a 1</b>												
		<b>P01</b>	<b>P02</b>	<b>P03</b>	<b>P04</b>	<b>P05</b>	<b>P06</b>	<b>P07</b>	<b>P08</b>	<b>P09</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	
Maiores aferições nos parâmetros físico-químicos em relação aos demais pontos.	1	Chuva	1	0,75	0,75	0,5	0,25	0	0,15	1	0,75	1	0,75	0,5
		Seca	1	0,25	0,25	0,25	0	0,15	0,15	1	1	0,75	0,75	0,5
	Pontuação Parcial - Chuva		1	0,75	0,75	0,5	0,25	0	0,15	1	0,75	1	0,75	0,5
	Pontuação Parcial - Seca		1	0,25	0,25	0,25	0	0,15	0,15	1	1	0,75	0,75	0,5
Correlação entre parâmetros indicativos de alterações de origem antrópica	1	Chuva	0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	0,15	0	0,75	0,25	1	1	1
		Seca	1	0,5	0,5	0,5	0,15	0,15	0,15	0,25	0,75	0,25	0,75	1
	Pontuação Parcial - Chuva		0,75	0,5	0,5	0,5	0,25	0,15	0	0,75	0,25	1	1	1
	Pontuação Parcial - Seca		1	0,5	0,5	0,5	0,15	0,15	0,15	0,25	0,75	0,25	0,75	1
Aferições nos parâmetros físico-químicos indicativos de atividades antrópicas	1	Chuva	1	0,75	0,75	0,75	0,5	0,15	0	0,75	0,5	1	0,75	1
		Seca	1	0,5	0,5	0,5	0	0,15	0	0,75	1	0,5	0,75	1
	Pontuação Parcial - Chuva		1	0,75	0,75	0,75	0,5	0,15	0	0,75	0,5	1	0,75	1
	Pontuação Parcial - Seca		1	0,5	0,5	0,5	0	0,15	0	0,75	1	0,5	0,75	1
Pontuação Final - Chuva		0,83	0,60	0,60	0,53	0,30	0,09	0,05	0,75	0,45	0,90	0,75	0,75	
Pontuação Final - Seca		0,60	0,25	0,25	0,25	0,03	0,09	0,06	0,40	0,55	0,30	0,45	0,50	
IQA - Período de Chuva							0,55							
IQA - Período de Seca							0,31							
<b>IQA FINAL</b>							<b>0,43</b>							

### 7.3.2. Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

O nível de poluição atmosférica é determinado pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar. Considera-se poluente atmosférico:

“qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (CONAMA, 1990).

Objetivando caracterizar a qualidade do ar de Goiânia, foram avaliados os resultados (tabela 27) de concentração dos poluentes monitorados, no período de agosto de 2016 a fevereiro de 2017, compreendendo amostragens em duas variações sazonais (seca e chuva).

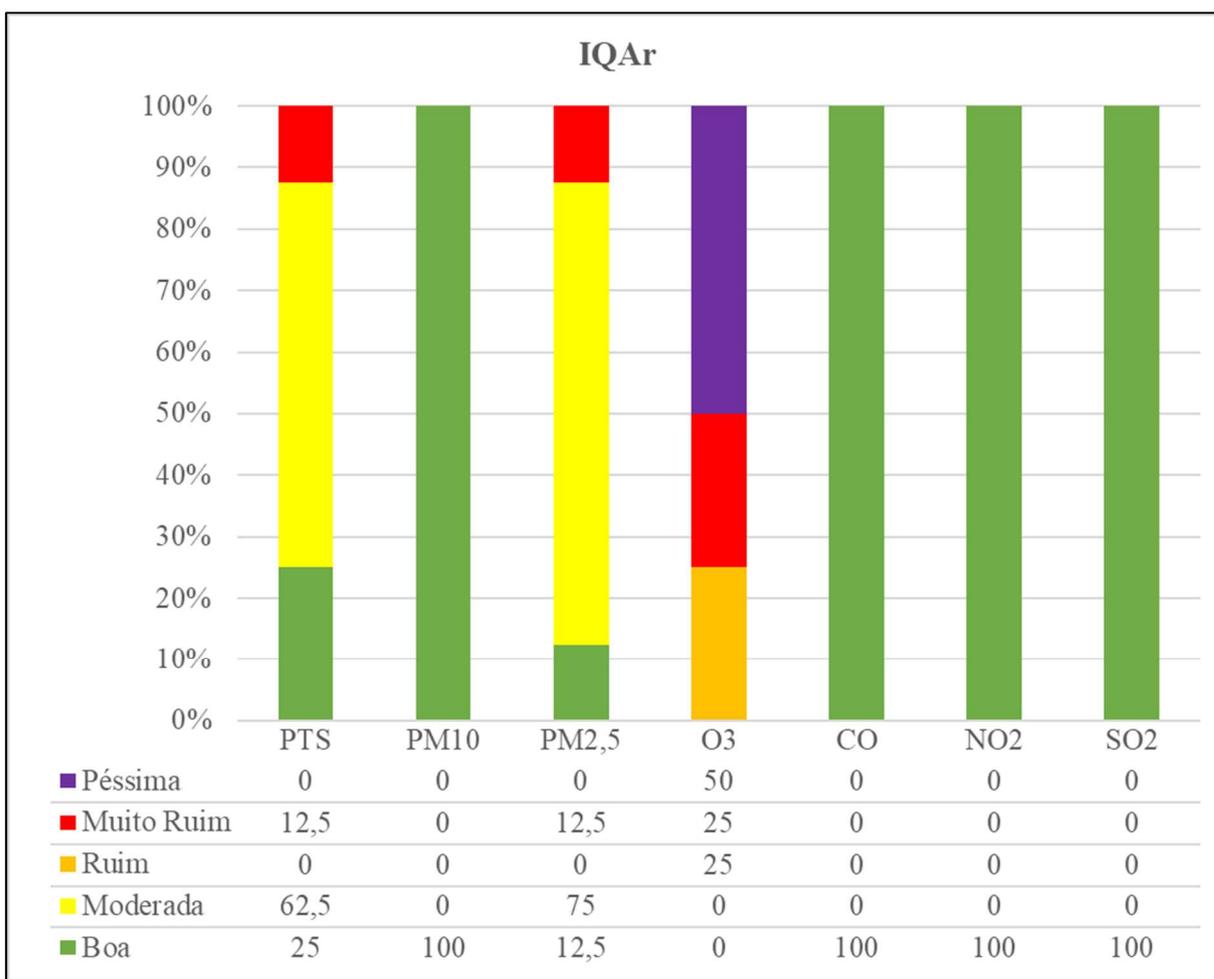
**Tabela 27 – Concentração dos Poluentes Atmosféricos, Bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.**

BACIA DO RIBEIRÃO ANICUNS, GOIÂNIA-GO								
Parâmetros / Unidades	PONTOS DE AMOSTRAGEM							
	GO 02					GO 01		
	ago/16	set/16	out/16	nov/16	dez/16	dez/16	jan/17	fev/17
PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	145,91	487,18	129,24	164,31	62,43	94,12	160,79	70,31
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	21,42	46,87	12,26	7,4	8,17	9,84	160,79	70,31
PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	31,89	123,83	26,42	16,04	26,10	29,87	40,91	26,68
O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	201,14	155,97	165,82	170,16	153,58	354,68	339,83	311,50
CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	14,57	9,04	13,86	19,33	6,33	5,85	7,49	6,54
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	81,77	82,41	115,01	138,24	152,65	15,18	69,86	26,48
SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	3,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0

A distribuição percentual do Índice de Qualidade do Ar de Goiânia (IQAr) é apresentada na figura 40. Na maior parte dos pontos monitorados as amostragens estiveram classificadas como boa, chegando a registrar de 75% a 100%, para todos os poluentes, exceto para O<sub>3</sub>.

O ozônio apresentou um percentual de ocorrência, com variação de ruim para péssimo, sendo 25% do período amostrado com classificação ruim, e muito ruim, representando 50% do período amostrado. Índice péssimo foi registrado nos outros 50% do período de amostragem.

Conforme a característica climática da região, entre os meses de abril e setembro a região passa por um grande período de seca, marcado principalmente pela baixa na umidade do ar. A baixa umidade relativa do ar favorece o aumento de focos de queimadas, influenciando negativamente a qualidade do ar na bacia do Ribeirão Anicuns, principalmente nos meses de agosto e setembro.



**Figura 40 – Índice de Qualidade do Ar, na bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.**

Aplicando o IQAr adaptado da Agencia Americana de Proteção Ambiental (EPA, 2014), o resultado geral para a qualidade do ar de Goiânia, na bacia do Ribeirão Anicuns foi de 0,82, conforme resultados apresentados na tabela 28.

**Tabela 28 – Média geral das concentrações nos pontos amostrados e aplicação do IQAr.**

Ponto de Amostragem	Mês	PTS	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
		(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h	(µg/m <sup>3</sup> ) 1h	(µg/m <sup>3</sup> ) 1h	(µg/m <sup>3</sup> ) 1h	(µg/m <sup>3</sup> ) 24h
GO 02	ago/16	145,91	21,42	31,89	201,14	14,57	81,77	3,50
	set/16	487,18	46,87	123,83	155,97	9,04	82,41	0,10
	out/16	129,24	12,26	26,42	165,82	13,86	115,01	0,10
	nov/16	164,31	7,40	16,04	170,16	19,33	138,24	0,10
	dez/16	62,43	8,17	26,10	153,58	6,33	152,65	0,10
GO 01	dez/16	94,12	9,84	29,87	354,68	5,85	15,18	0,10
	jan/17	160,79	14,52	40,91	339,83	7,49	69,86	0,10
	fev/17	70,31	7,76	26,68	311,50	6,54	26,48	0,00
Média Geral		164,29	16,03	40,22	231,59	10,38	85,20	0,51
IQAr Parcial		0,75	0,75	1	1	1	0	1
<b>IQAr Geral</b>		<b>0,79</b>						

### 7.3.3. Índice de Qualidade do Solo (IQS)

O cálculo do IQS foi realizado a partir das determinações dos parâmetros físicos e orgânicos, dos pontos amostrais, na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Para melhor compreensão dos resultados as amostras de *background* foram nomeadas com as iniciais NT (sistemas naturais), coletadas em áreas de proteção ambiental com pouca interferência antrópica, e as amostras em ambiente completamente urbano, com muita interferência antrópica, foram nomeadas com as iniciais AT (antrópico).

Baseado nos dados granulométricos das amostras (tabela 29), os solos das oito áreas avaliadas apresentaram, em média, 71 % de silte e 29 % de argila, e são agrupados nas classes: argila siltosa, franco siltoso argiloso, franco siltoso ou silte (EMBRAPA, 2006; JACOMINE, 2009).

**Tabela 29 - Classificação textural das amostras.**

CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	AMOSTRAS	Silte (%)	Argila (%)	Silte / Argila (%)	
Latossolo Vermelho Amarelo	LVd1	NT 1	53,00	47,00	1,13
		AT 2	70,00	30,00	2,33
	LVd2	NT 3	70,00	30,00	2,33
		AT4	60,00	40,00	1,50
	LVd3	NT 5	84,00	16,00	5,25
		AT6	72,00	28,00	2,57
Latossolo Vermelho Escuro	LEd1	NT 7	81,00	19,00	4,26
		AT8	91,00	9,00	10,11
	LEd3	NT 9	68,00	32,00	2,13
		AT 10	59,00	41,00	1,44
Argissolo Vermelho distrófico + Cambissolo	PV1	NT 11	84,00	16,00	5,25
		AT 12	58,00	42,00	1,38
	PV2	NT 13	70,00	30,00	2,33
		AT 14	86,00	14,00	6,14
Gleissolo	Ge	NT 15	70,00	30,00	2,33
		AT 16	69,00	31,00	2,23

Na tabela 30 são apresentados os valores encontrados nas determinações dos indicadores selecionados, bem como a variação entre as amostras de áreas antropizadas e das amostras de *background* da classe de Latossolos Vermelhos Amarelos.

**Tabela 30 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Amarelo.**

PARAMÊTROS		Latossolos Vermelho Amarelo					
		LVd1		LVd2		LVd3	
		NT 1	AT 2	NT 3	AT4	NT 5	AT6
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,21	0,80	1,12	1,09	1,17
	DR (g/ml)	2,88	2,93	2,25	2,90	2,79	2,96
	POR (%)	60,00	59,00	64,00	61,00	61,00	60,00
	CTC (mE/100ml)	2,85	8,36	11,32	4,89	4,71	3,56
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,07	0,15	0,35	0,06	0,06	0,09
	MO (%)	1,30	2,70	7,30	1,30	1,30	1,70
	CA (%)	0,75	1,57	4,23	0,75	0,75	0,99

DA – Densidade aparente; DR – Densidade real; POR – Porosidade; NPM – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; MO – Matéria Orgânica; CA – Carbono Ativo.

Os resultados das amostras coletadas na classe Latossolo Vermelho Escuro, bem como as respectivas variações podem ser visualizadas na tabela 31.

**Tabela 31 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Latossolos Vermelho Escuro.**

PARAMÊTROS		Latossolo Vermelho Escuro			
		LEd1		LEd3	
		NT7	AT8	NT9	AT10
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,03	1,35	1,18	1,17
	DR (g/ml)	2,53	3,00	2,88	1,90
	POR (%)	59,00	55,00	59,00	38,00
	CTC (mE/100ml)	6,46	6,52	6,50	3,74
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,12	0,06	0,19	0,09
	MO (%)	2,30	1,10	3,70	1,70
	CA (%)	1,33	0,64	2,15	0,99

DA – Densidade aparente; DR – Densidade real; POR – Porosidade; NPM – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; MO – Matéria Orgânica; CA – Carbono Ativo; LD – Limite de Detecção.

A tabela 32 apresenta os valores encontrados nas determinações dos indicadores selecionados para as amostras coletas nas classes dos Argissolos Vermelhos distróficos + Cambissolos e Gleissolos, bem como a variação entre as amostras de áreas antropizadas e das amostras de *background*.

**Tabela 32 - Resultados dos indicadores físicos e orgânicos do solo das amostras coletadas em áreas de Argissolo Vermelho + Cambissolo e Gleissolo.**

PARAMÊTROS	Argissolo Vermelho + Cambissolo				Gleissolo		
	PV1		PV2		Ge		
	NT 11	AT 12	NT 13	AT 14	NT 15	AT 16	
FÍSICOS	DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,15	0,93	1,30	1,15	1,13
	DR (g/ml)	2,84	1,95	2,96	2,92	2,93	2,90
	POR (%)	59,00	41,00	69,00	55,00	61,00	61,00
	CTC (mE/100ml)	12,59	5,07	12,17	10,80	14,84	12,30
ORGÂNICOS	NPM (%)	0,29	0,05	0,14	0,07	0,12	0,11
	MO (%)	5,10	0,90	2,60	1,60	2,30	2,30
	CA (%)	2,96	0,52	1,51	0,93	1,33	1,33

**DA** – Densidade aparente; **DR** – Densidade real; **POR** – Porosidade; **NPM** – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável; **CTC** – Capacidade de Troca de Cátions; **MO** – Matéria Orgânica; **CA** – Carbono Ativo; **LD** – Limite de Detecção.

Aplicando o IQS, verificamos que houve deterioração da qualidade do solo nas áreas antropizadas em relação as amostras de solo extraídas em áreas naturais (tabela 33). Baseado nos valores do IQS calculados para cada tipo de solo, temos que o valor geral do IQS na bacia do Ribeirão Anicuns é de 0,75.

**Tabela 33 - Índice de Qualidade do Solo (IQS).**

AMOSTRAS	SOLO	Deterioração dos indicadores de solo em relação aos ambientes naturais		IQS <sub>2</sub>
		FÍSICOS	ORGÂNICOS	
		NT1	LVd1	
AT2		0,07	1,10	0,72
NT3	LVd2	-	-	1,00
AT4		0,24	0,82	0,56
NT5	LVd3	-	-	1,00
AT6		0,07	0,37	0,85
NT7	LEd1	-	-	1,00
AT8		0,14	0,51	0,80
NT9	LEd3	-	-	1,00
AT10		0,14	0,54	0,72
NT11	PV1	-	-	1,00
AT12		0,15	0,83	0,65
NT13	PV2	-	-	1,00
AT14		0,11	0,42	0,79
NT15	Ge	-	-	1,00
AT16		0,01	0,08	0,97
<b>IQS GERAL</b>		<b>0,75</b>		

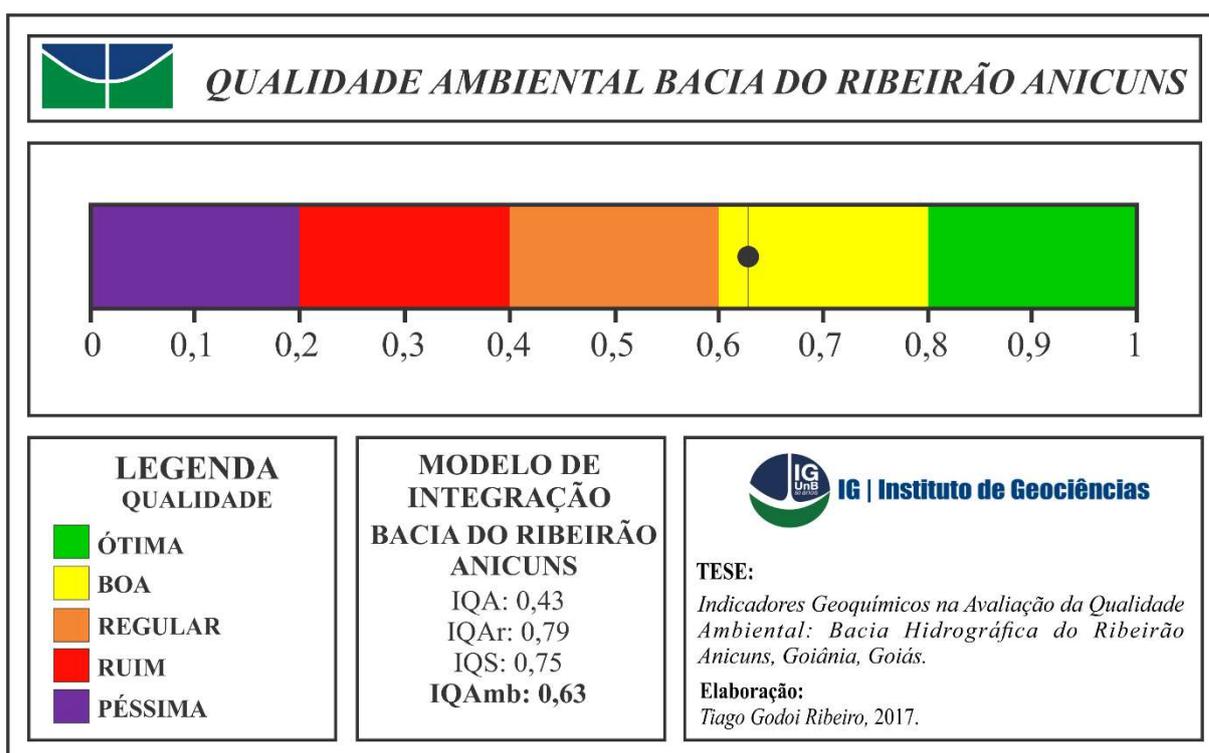
### 7.3.4. Índice de Qualidade Ambiental (IQAmb)

O IQAmb foi calculado a partir do produto dos índices de qualidade (IQA, IQAr e IQS), formados por indicadores geoquímicos, elevado ao número total dos índices (3). O IQAmb calculado para bacia do Ribeirão Anicuns apresentou o resultado de 0,63 (tabela 34).

**Tabela 34 – Índice de Qualidade Ambiental (IQAmb), Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.**

INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE	
ÍNDICE	RESULTADOS
IQA	0,43
IQAr	0,79
IQS	0,75
<b>IQAmb</b>	<b>0,63</b>

Aplicando a Escala da Qualidade Ambiental, baseado no modelo proposto de avaliação neste estudo, que integra indicadores geoquímicos, classificados em índices de qualidade da água, do ar e do solo, temos que o IQAmb local apresenta qualidade boa (figura 41).



**Figura 41 – Aplicação do IQAmb na escala da qualidade ambiental.**

**Bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia, Goiás.**

Os resultados da aplicação modelo, na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns, demonstraram que as atividades antrópicas têm deteriorado a qualidade ambiental local, principalmente nos corpos hídricos.

É possível verificar na área estudada, que há lançamentos de efluentes no Ribeirão Anicuns e seus afluentes, ocupações no fundo de vale, lançamento de resíduos sólidos, desenvolvimento de processos erosivos, assoreamentos, dentre outros impactos, intensificados pelos processos de uso e ocupação do solo na área urbana.

Os indícios de qualidade ambiental apontado no modelo aplicado, são evidenciados pelas determinações da qualidade do ar e do solo. A variação da sazonalidade atua diretamente na concentração de poluentes da água e do ar. As maiores concentrações de poluentes no corpo hídrico e no ar se deu no período de estiagem.

Os métodos aplicados indicam que as alterações na qualidade ambiental local é de origem antrópica, o que foi condizente e valida o resultado do modelo aplicado.

#### **7.4. CONCLUSÕES**

A determinação de parâmetros físico-químicos durante o período de 2015, demonstram a variação da qualidade da água na bacia do ribeirão Anicuns, indicando a influência direta das atividades antrópicas. As áreas dos pontos amostrados possuem passivos ambientais oriundos de atividades antrópicas, contribuindo significativamente para mudanças na qualidade da água. Essas alterações são observadas, nas áreas de preservação permanente com ausência de cobertura vegetal ou lançamentos de efluentes domésticos e resíduos sólidos. (RIBEIRO *et al.*, 2016)

A qualidade do ar em Goiânia, foi o índice que apresentou melhor resultado para a qualidade ambiental. Os picos de concentração se deram principalmente no período de estiagem.

Avaliar a qualidade do solo com base nos desvios dos indicadores em relação às áreas nativas é uma forma eficiente para refletir a variação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso, seja em áreas urbanas ou rurais.

Conclui-se que a aplicação de indicadores geoquímicos, é uma forma objetiva e clara, de organizar os dados ambientais para avaliar a qualidade ambiental. O modelo proposto neste estudo apresenta-se como uma boa forma de acompanhar periodicamente a evolução das condições ambientais em uma área adensada.

O IQAmb proposto evidencia que a qualidade ambiental funciona como um subsistema dentro dos sistemas urbanos já afetados pelas consequências do modo de vida em sociedade.

Considerando as observações e os dados apresentados neste trabalho podemos concluir que a bacia do Ribeirão Anicuns passou por um intenso processo de urbanização nos últimos anos, levando a degradação da qualidade ambiental local.

## 7.5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Geociências Aplicadas da UnB, aos professores e técnicos Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da UnB, ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiás – IFG, ao CNPq e a CAPES.

## 7.6. REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington: American Public Health Association, 1999, 1496 p.

ADEJUWON, J.O.; EKANADE, O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt. *Catena*, v.15, 1988, p. 319-331.

BENEDETTI, M.; CIAPRINI, F.; PIVA, F.; ONORATI, F.; FATTORINI, D.; NOTTI, A.; AUSILI, A.; REGOLI, F. A multidisciplinary weight of evidence approach for classifying polluted sediments: Integrating sediment chemistry, bioavailability, biomarkers responses and bioassays. *Environment International*, v. 38, 2011, p. 17–28.

BRITO, G. S. de. Alterações ambientais decorrentes da presença de depósitos tecnogênicos na bacia hidrográfica do ribeirão Anicuns em Goiânia, GO. Rio Claro: Dissertação (Mestrado). *Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.*, 2011, 141 p.

CASSETI, V. Geomorfologia do município de Goiânia-GO. Goiânia: *Boletim Goiano de Geografia*, v. 1, n. 12, 1992, p. 65-85.

CEPAL, Comissão Econômica pela América Latina e o Caribe da ONU. Indicadores de Aplicação e Cumprimento da Norma Ambiental para Ar, Água e Vegetação no Brasil. Chile: *Nações Unidas*, 2007. Disponível em: <<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/31998/W156.pdf>>. Acessado em: 27-08-2013.

COHEN, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Second Edition. New York: LEA - Lawrence Erlbaum Associates, 1988, 567 p.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 3, de 1990, dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. In: *Coletânea de Legislação Ambiental*. Porto Alegre: Procuradoria-Geral de Justiça, 2003, p. 1085-1090.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: *CPRM*, 1999, 181 p.

DAGNINO, A.; SFORZINI, S.; DONDERO, F.; FENOGLIO, S.; BONA, E.; JENSEN, J. A “Weight-of-Evidence” approach for the integration of environmental “Triad” data to assess ecological risk and biological vulnerability. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 4, 2008, p. 314–26.

EEA, European Environmental Agency. Glossary of Environment Statistics – Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS). *EIONET, Environment Information and Observation Network*. European Union, 1997. Disponível em: <[http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=environmental%20quality](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=environmental%20quality)>. Acessado em: 06-05-2015.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*. 2ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 2009, 20 p.

EPA, United States Environmental Protection Agency. *Air quality index: a guide to air quality and your healthy*. North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency. Outreach and Information Division., 2014, 12 p.

FIDALGO, E. C. C. *Crítérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais*. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola (Tese de Doutorado), 2003, 276 p.

HELENA B., PARDO R., VEJA M., BARRADO E., FERNANDEZ J.M., FERNANDEZ L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, v. 34, n. 3, 2000, p. 807-816.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010 e Estimativa da População 2014. Brasília: *Cidades-IBGE*, s.n. 2016. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=520870>>. Acessado em 12 jan 2016.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicators properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation anagement. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 55, n. 01, 2000, p. 69-78.

ITCO, Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste. Zoneamento ecológico-econômico do município de Goiânia. Goiânia: *Prefeitura Municipal de Goiânia*, 2008, 377 p.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 390 p, 1931. In: AYOADE. J.O. Introdução à Climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: *Bertrand Brasil*, 332p, 2003.

LIMA, Valéria. Do Mapa ao Modelo: Representação da Qualidade Ambiental Urbana de Osvaldo Cruz/SP. Brasil: *Geografia em Questão*, v.04, n. 01, 2011, p. 112-125.

LINKOV, I.; LONEY, D.; CORMIER, S.; SATTERSTROM, F. K.; BRIDGES, T. Weight-of-evidence evaluation in environmental assessment: review of qualitative and quantitative approaches. *Sci Total Environ*, v. 407, 2009, p. 5199–205.

- LOGAN, J;. *Interpretação de Análises Químicas da Água*. Recife: U.S. Agency for International Development, 1965, 75 p.
- MACHADO, L.M.C.P. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B (Org). *Indicadores ambientais*. Sorocaba: Ed. USP, 1997. p.15-21.
- MAMEDE L. et al. Geomorfologia, Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: *MME/SG/Projeto RadamBrasil.*, v. 25, 1983, p. 301-376.
- MARCUS, M.G.; DETWYLER, T.R. *Urbanization and environment*. Bermont/Cal: Duxburg Press, 1972, 286 p.
- MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2008, 143 p.
- NUNES, Fabrizia Gioppo. Modelagem Hidrológica e Técnicas de Geoprocessamento na Estimativa da Impermeabilização do Solo e Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns – Goiânia (GO). Goiânia: *Ateliê Geográfico*, n. 06, v. 02, 2012, p. 55-74.
- PIMENTA, S. M. *Modelo de Avaliação da Qualidade da Água Utilizando Geoquímica e Bioindicadores*. Brasília: Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 2016, 132 p.
- POSTEC, Postec Technology. *Relatório do teste de Medições Automáticas de Gases, Partículas e Condições Atmosféricas POD AQMesh*. São Paulo: Postec Tecnologia Ltda, 2015, 18 p.
- RAMOS, A. M., SANTOS, L. A. R. dos; FORTES, L. T. G. (Org.). *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Edição Revista e Ampliada. Brasília: INMET, 2009, 465 p.
- RIBEIRO, T.G. Avaliação da Qualidade Ambiental no Município de Aparecida de Goiânia. Goiânia: *Universidade Federal de Goiás*, Instituto de Estudos Socioambientais (Dissertação de Mestrado), 2013, 101 p.
- RIBEIRO, T.G.; BOAVENTURA, G.R.; CUNHA, L.S.; PIMENTA, S.M. Estudo da Qualidade das Águas por meio da Correlação de Parâmetros Físico-Químicos, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. Brasil: *Geochimica Brasiliensis*, v. 30, n. 1, 2016, p. 84-94.
- RIBEIRO, T.G.; BOAVENTURA, G.R.; CUNHA, L.S.; PIMENTA, S.M. Qualidade Ambiental: Reflexões Teóricas. Anápolis: *Revista Processos Químicos*, SENAI - Departamento Regional de Goiás, v. 11, n. 21, 2017, “in press”.
- SANTOS, M. Metamorfose do espaço habitado – Fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. São Paulo: *EDUSP*, 2007, 136 p.

SEMENZIN, E.; CRITTO, A.; RUTGERS, M.; MARCOMINI, A. Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment. *Sci Total Environ*, v. 389, 2008, p. 71–86.

TEZA, C.T.V. Proposta de modelagem de qualidade ambiental em áreas metropolitanas, por meio de dados de sensoriamento remoto. Brasília: *Universidade de Brasília*, Instituto de Geociências (Tese de doutorado), 2016, 110 p.

USDA, United State Departament of Agriculture. *Soil quality test kit guide*. Washington: NRCS/ Soil Quality Institute, 2001, 48 p.

VASILE, S.; RADITA, A.; MARIAC, K.C.; DANUT, T.; MIHAELA, S. The Evaluation of the Environmental Quality in Romania. *Geographica Pannonica*, v. 15, n. 2, 2011, p. 42-50.

WEINS, S.; SILVA, C. L. Indicadores de Qualidade Ambiental: Uma Análise Comparativa. In: *I Seminário sobre Sustentabilidade da UNIFAE Anais*. São Paulo: UNIFAE, Faculdades Associadas de Ensino, 2007, 11 p.

## **CAPÍTULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

A aplicação dos índices geoquímicos para avaliação da qualidade ambiental na bacia do Ribeirão Anicuns revela as consequências do processo de urbanização de Goiânia, que por muito tempo foi conduzido, sem um planejamento urbanístico apoiado em políticas públicas voltadas a gestão ambiental das cidades.

A qualidade da água na bacia do Ribeirão Anicuns apresentou o maior processo de degradação da qualidade ambiental. Os parâmetros físico-químicos determinados durante o período de 2015 demonstram a variação da qualidade da água na bacia do ribeirão Anicuns, indicando a influência direta das atividades antrópicas. As áreas dos pontos amostrados possuem passivos ambientais oriundos de atividades antrópicas, contribuindo significativamente para mudanças na qualidade da água. Essas alterações são observadas, nas áreas de preservação permanente com ausência de cobertura vegetal, lançamentos de efluentes domésticos e resíduos sólidos.

O ponto de amostragem P08 (nascente do córrego Botafogo), indica boa qualidade da água amostrada. Os demais pontos amostrados em áreas de nascente (P01, P09 e P10) mesmo apresentando no contexto geral bons resultados para os parâmetros determinados, indicam alterações de origem antrópica. Ressalta-se que os pontos P09 e P10 localizados na área de implantação do Parque Municipal Macambira Anicuns, estão sofrendo intervenções urbanas, com a verticalização das construções, (implantação de prédios residenciais), adensando a região, o que justifica as fortes alterações nos parâmetros,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_3$ .

Os parâmetros fosfato, nitrato, amônia, turbidez, pH e oxigênio dissolvido ficaram acima do Valor Máximo Permitido-VMP, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, tanto em período chuvoso quanto de estiagem.

Destaca-se que os valores encontrados para os parâmetros  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{Cl}^-$ , indicam contaminação do corpo hídrico pelo lançamento de esgotos sanitários. Ressalta-se que conforme as características geológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns não há contribuições da geologia local para esses parâmetros, comprovando a interferência humana na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.

O monitoramento da qualidade do ar na bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns foi realizado através de um método indicativo, com o uso de um amostrador automático denominado POD, fabricado pela AQMesh. Conforme limitações orçamentárias o período amostrado não foi de um ano conforme determina a Resolução CONAMA 03/1990, tendo uma duração de apenas seis meses. Neste período as amostragens iniciaram no período seco e finalizando no período chuvoso, abrangendo assim as duas estações climáticas da região.

De uma forma geral, a avaliação dos resultados obtidos pelo uso do POD, no monitoramento da qualidade do ar demonstra que a situação geral do ar na cidade foi classificada como boa, com registro de episódios críticos de poluição atmosférica (conforme definido na Resolução CONAMA Nº 03/1990), para o parâmetro O<sub>3</sub>, considerando os métodos de cálculo estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990.

O ozônio é um poluente que tem se apresentado em elevados níveis de concentração, não apenas em Goiânia, mas em diversos centros urbanos do mundo, sendo este um problema crítico das grandes cidades (INEA, 2015).

Os únicos poluentes que apresentaram violações aos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 03/1990 foram as partículas totais em suspensão, as partículas inaláveis (PM<sub>2,5</sub>), e o O<sub>3</sub>. Essas ultrapassagens ocorreram principalmente no mês de setembro, período em que foi registrada a menor umidade relativa do ar, favorecendo a concentração de poluentes na atmosfera.

A área estudada não apresentou no período amostrado problemas de poluição relacionados à dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ao monóxido de carbono, mesmo considerando que a região metropolitana de Goiânia possui diversos polos industriais e alta densidade urbana.

Entre os meses de abril e setembro a região passa por um grande período de seca, marcado principalmente pela baixa na umidade do ar. A baixa umidade relativa do ar favorece o aumento de focos de queimadas, influenciando negativamente a qualidade do ar na bacia do Ribeirão Anicuns, principalmente nos meses de agosto e setembro.

A aplicação do IQS, utilizando indicadores físicos e orgânicos possibilitaram a avaliação da qualidade do solo de forma quanti-qualitativa e baixo custo. Normalmente a avaliação da qualidade do solo tem sido ligada à produção agrícola, desconsiderando a ampla gama de funções e serviços que o mesmo desempenha. A qualidade do solo deve ser avaliada considerando sua capacidade, para sustentar não só a produção, mas também para manter ou melhorar a qualidade da água, do ar e apoiar a saúde e a habitação humana.

O IQS<sub>2</sub> considera para cálculo o produtório dos desvios das diferenças entre os indicadores das áreas avaliadas, em relação aos valores dos indicadores das áreas de referência. O modelo proposto foi mais preciso que o modelo aplicado a partir do somatório dos desvios (ISLAM e WEIL, 2000), uma vez que apresenta menor erro médio, na comprovação estatística.

Os resultados encontrados, comprovam que o solo na bacia do Ribeirão Anicuns vem sofrendo diminuição de sua qualidade nas áreas urbanizadas. As áreas antropizadas em geral apresentam maior compactação do solo e diminuição dos indicadores orgânicos.

A compactação do solo é danosa para o desenvolvimento vegetal, pois influencia negativamente o crescimento de raízes, fazendo com que a planta tenha problemas em seu desenvolvimento. Dificultando assim o processo de arborização urbana. O aumento da compactação do solo nas áreas amostradas, influencia diretamente na capacidade de absorção de água pelo solo, prejudicando o processo de recarga das águas subterrâneas.

Determinar a qualidade do solo com base nos desvios dos indicadores em relação às áreas nativas é uma forma eficiente para refletir a variação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso, seja em áreas urbanas ou rurais.

A qualidade do ar em Goiânia, foi o índice que apresentou melhor resultado para a qualidade ambiental. Os picos de concentração se deram principalmente no período de estiagem.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento da qualidade do ar, atendendo assim ao período indicado pela Resolução CONAMA 03/1990. A continuidade do monitoramento da qualidade do ar servirá para o aprimoramento das políticas públicas relacionadas ao controle da poluição do atmosférica. Ressalta-se que conforme resultados encontrados, a alteração do ponto de amostragem durante o período monitorado, não prejudicou o estudo. Observou-se que nos dois pontos monitorados a qualidade do ar segue o mesmo padrão.

Conclui-se que a aplicação de indicadores geoquímicos, é uma forma objetiva e clara, de organizar os dados ambientais para avaliar a qualidade ambiental. O modelo proposto neste estudo apresenta-se como uma boa forma de acompanhar periodicamente a evolução das condições ambientais em uma área adensada.

O IQAmb proposto evidencia que a qualidade ambiental funciona como um subsistema dentro dos sistemas urbanos já afetados pelas consequências do modo de vida em sociedade. A aplicação do IQAmb em uma escala proporciona melhor compreensão, principalmente ao público leigo, facilitando e simplificando a divulgação das condições ambientais da cidade.

Considerando as observações e os dados apresentados neste trabalho podemos concluir que a bacia do Ribeirão Anicuns passou por um intenso processo de urbanização nos últimos anos, levando a degradação da qualidade ambiental local.

## REFERÊNCIAS

---

ADEJUWON, J.O.; EKANADE, O. **A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt.** *Catena*, v.15, p. 319-331, 1988.

ALMEIDA, S. G. et al. **Crise socioambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira: subsídios à formação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola.** Rio de Janeiro: AS-PTA, 122 p., 2001.

ALVARES JR O M, LACAVA C I V, FERNANDES P S. **Emissões Atmosféricas: Tecnologias e Gestão Ambiental.** Brasília: SENAI, 373p., 2002.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 176 p., 2005.

Andrade E.M., Araújo L.F.P., Rosa M.F., Gomes R.B., Lobato F.A.O. 2007. **Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil.** *Ciência Rural*, v. 37(6), p. 1791 – 1797, 2007.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th ed. Washington: American Public Health Association, 1496 p., 1999.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. **Qualidade de um Solo sob Diferentes Usos e Sob Cerrado Nativo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ARRUDA G.B., CORREIA K.V., MENOR E.A., LINS V. **Contaminações em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina-PE.** *Estudos Geológicos*, v. 22(2), p. 149-171, 2012.

ASSIS, S.S.; OLIVEIRA, H.C.M. **Qualidade ambiental urbana: Avaliação da Área Central da Cidade de Ituiutaba (MG).** Departamento de Geografia da FCT/UNESP, v. 13(2), p. 26-41, 2013.

BADANHAN, L F. **Indicadores e Padrões de Qualidade Ambiental na Construção de Dutos para o Transporte de Gás Natural.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 244 p., 2001.

BARGOS, D. C. **Mapeamento e análise das áreas verdes urbanas como indicador da qualidade ambiental urbana: estudo de caso de Paulínia-SP**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 147 p., 2010.

BENEDETTI, M.; CIAPRINI, F.; PIVA, F.; ONORATI, F.; FATTORINI, D.; NOTTI, A.; AUSILI, A.; REGOLI, F. **A multidisciplinary weight of evidence approach for classifying polluted sediments: Integrating sediment chemistry, bioavailability, biomarkers responses and bioassays**. *Environment International*, v. 38, p. 17-28, 2011.

BORREGO C, COSTA A M, GINJA J, AMORIM M, COUTINHO M, KARATZAS K, SIOUMIS TH, KATSIFARAKIS N, KONSTANTINIDIS K, DE VITO S, ESPOSITO E, SMITH P, ANDRÉ N, GÉRARD P, FRANCIS L A, CASTELL N, SCHNEIDER P, VIANA M, MINGUILLÓN M C, REIMRINGER W, OTJES R P, VON SICARD O, POHLE R, ELEN B, SURIANO D, PFISTER V, PRATO M, DIPINTO S, PENZA M. **Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise**. Elsevier, *Atmospheric Environment* v. 147, p. 246-263, 2016.

BRAGA, T. M., FREITAS, A.P.G., DUARTE, G.S. **Índice de Sustentabilidade Urbana**. Indaiatuba: I Encontro Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anais), 2002.

BRASIL. 1997. **Lei 9433, de 08 de janeiro de 1997, dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997. [cited, 2016 Jan 23]. Available from: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm).

BRIGUENTI, E.C. **O Uso de Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia do Ribeirão Anhumas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 127p., 2005.

BRITO, G. S. de. **Alterações ambientais decorrentes da presença de depósitos tecnogênicos na bacia hidrográfica do ribeirão Anicuns em Goiânia, GO**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 141p., 2011.

CAMARGO, C.E.S. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano na Cidade de Presidente Prudente (SP)**. Dissertação (Mestrado). UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 152 p., 2007.

CARMO, M.S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E.C. **Geoquímica das Águas da Bacia do Rio Descoberto**. *Química Nova*, v. 28(4), p. 565-574, 2005.

CASSETI, V. **Geomorfologia do município de Goiânia-GO**. Boletim Goiano de Geografia, v. 1(12), p. 65-85, 1992.

CASTELL N, DAUGE F R, SCHNEIDER P, VOGT M, LERNER L, FISHBAIN B, BRODAY D, BARTONOVA A. **Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?**. Elsevier: Environment International, v. 99, p. 293-302, 2017.

CEPAL, Comissão Econômica pela América Latina e o Caribe da ONU. **Indicadores de Aplicação e Cumprimento da Norma Ambiental para Ar, Água e Vegetação no Brasil**. Nações Unidas, Chile, 2007. [cited, 2013 Ago 27]. Available from: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/31998/W156.pdf>.

CERNA C.E.L. **Degradação da amônia em efluentes com ácido de caro**. Dissertação (Mestrado). PUC, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Rio de Janeiro, 102 p., 2008.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. CETESB, São Paulo, 2009. [cited, 2016 Mai 15]. Available from: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, Second Edition**. LEA - Lawrence Erlbaum Associates, New York, 567p., 1988.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 3, de 1990, dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**. In: Coletânea de Legislação Ambiental. Procuradoria-Geral de Justiça, Porto Alegre, p. 1085-1090, 2003.

CONAMA. Resolução CONAMA n° 357, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005. [cited, 2016 Jan 23]. Available from: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal**. CPRM, Goiânia, 181 p., 1999.

DAGNINO, A.; SFORZINI, S.; DONDERO, F.; FENOGLIO, S.; BONA, E.; JENSEN, J. A. **“Weight-of-Evidence” approach for the integration of environmental “Triad” data to assess ecological risk and biological vulnerability**. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 4, p. 314-26, 2008.

DAMASCENO, L. L. B. **Análise da qualidade ambiental urbana da cidade de Uberlândia (MG) a partir de indicadores socioambientais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia. Uberlândia, 132p., 2012.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. **Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo**. Revista Estudos Avançados, v. 30(86), p. 83-97, 2016.

DIAS, F. A., GOMES, L. A., ALKMIM, J. K. **Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia do Ribeirão do Lipa Através de Indicadores, Cuiabá/MT**. Sociedade & Natureza, v. 23 (1), p. 127-147, 2011.

DONADIO N.M.M., GALBIATTI J.A., PAULA R.C. **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil**. Engenharia Agrícola, v. 25(1), p. 115-125, 2005.

DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science of America Proceedings, n. 35, Madison, p. 107-124, 1994.

EEA, European Environmental Agency. **Glossary of Environment Statistics – Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS)**. EIONET, Environment Information and Observation Network. European Union, 1997. [cited, 2015 Mai 06]. Available from: [http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=environmental%20quality](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=environmental%20quality).

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ª Ed. EMBRAPA, Brasília, 20 p., 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª Ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro, 306 p., 2006.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Air quality index: a guide to air quality and your healthy**. U.S. Environmental Protection Agency. Outreach and Information Division. Research Triangle Park. EPA-456/F-14-002, North Carolina, 12 p., 2014.

ERICKSON R.J. **An evaluation of mathematical models for the effects of ph and temperature on ammonia toxicity to aquatic organisms**. Water Research, v. 19, p. 1047-1058, 1985.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais.** Tese (doutorado). UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 276 p., 2003.

FIGUEIREDO FILHO D.B., ROCHA E.C., SILVA JR J., PARANHOS R., NEVES J.A.B., SILVA M.B. **Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Perarson.** Leviathan Cadernos de Pesquisa Política, v. 8, p. 66-95, 2014.

FISHBAIN B, LERNER U, CASTELL N, COLE-HUNTER T, POPOOLA O, BRODAY D M, IÑIGUEZ T M, NIEUWENHUIJSEN M, JOVASEVIC-STOJANOVIC M, TOPALOVIC D, JONES R L, GALEA K S, ETZION Y, KIZEL F, GOLUMBIC Y N, BARAM-TSABARI A, TAMAR YACOBI T, DRAHLER D, ROBINSON J A, KOCCMAN D, HORVAT M, SVECOVA V, ARPACI A, BARTONOVA A. **An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units.** Elsevier: Science of The Total Environment, v. 575, p. 639–648, 2017.

FREIBERG M R. **Diagnóstico da Qualidade do Ar de Goiânia-GO.** Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2009. [cited, 2017 Jan 21]. Available from: <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/DIAGN%C3%93STIC O%20DA%20QUALIDADE%20DO%20AR%20DE%20GOI%C3%82NIA-GO.pdf/>.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, E. **Índices de Qualidade do Solo sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo Florestal e Cerrado Nativo Adjacente.** Revista de Ciência Agronômica, v. 43(3), p. 417-428, 2012.

FREITAS, M.K.; LOMBARDO, M.A. **Índices Urbanísticos e Qualidade Ambiental em Áreas Centrais de Metrôpoles: o caso de São Paulo.** Mercator, Revista de Geografia da UFC, v. 6(12), p. 69-81, 2007.

GALUSZKA, A. **A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland.** Environmental Geology, v. 52, p. 861-870, 2007.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** Editora Bertrand Brasil. 8ª Ed. Rio de Janeiro, 416 p., 2011.

HAIR, J.F., BLACK W.C. BABIN B.J., ANDERSON R.E. **Análise Multivariada de Dados.** Bookman Editora, Porto Alegre, 688p., 2009.

HELENA B., PARDO R., VEJA M., BARRADO E., FERNANDEZ J.M., FERNANDEZ L. **Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis**. Water Research, v. 34(3), p. 807-816, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010 e Estimativa da População 2014**. Brasília: Cidades-IBGE, s.n. 2016. [cited, 2016 Jan 12]. Available from: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=520870>.

INEA, Instituto Estadual do Meio Ambiente. **Gestão da Qualidade das Águas**. Rio de Janeiro, 2016. [cited, 2016 Jan 21]. Available from: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/index.htm&lang=PT-BR>.

INEA, Instituto Estadual do Meio Ambiente. **Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro, Ano Base 2015**. INEA, Rio de Janeiro. 2015. [cited, 2017 Fev 08]. Available from: [http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/@inter\\_dimfis\\_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edis\\_p/inea0131852.pdf](http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/zwew/mtmx/~edis_p/inea0131852.pdf).

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990)**. [cited 2017, Mar 21]. Available from: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais**. INPE, São Paulo. 2016. [cited, 2017 Fev 15]. Available from: <http://www.inpe.br/queimadas>

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. **Soil quality indicators properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation anagement**. Journal of Soil and Water Conservation, v. 55(01), p. 69-78, 2000.

ITCO, Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro-Oeste. **Zoneamento ecológico-econômico do município de Goiânia**. Prefeitura Municipal de Goiânia, Goiânia, 377 p., 2008.

JACOMINE, P. K. T. **A Nova Classificação Brasileira de Solos**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, v. 5 e 6, p. 161-179, 2008-2009.

JARDIM, B.F.M. **Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da Bacia do Rio das Velhas-MG e sua associação com as florações de cianobactérias**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 113 p., 2011.

JIAO W, HAGLER G, WILLIAMS R, SHARPE R, BROWN R, GARVER D, JUDGE R, CAUDILL M, RICKARD J, DAVIS M, WEINSTOCK L, ZIMMER-DAUPHINEE S, BUCKLEY K. **Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States**. Atmospheric Measurement Techniques, v. 9, p. 5281-5292, 2016.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. **Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial)**. Soil Science Society of America Journal, v. 61, Madison, p. 4-10, 1997.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlim: Walter de Gruyter, 390 p., 1931. *In*: AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332p., 2003.

LACERDA FILHO, J.V. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000**. CPRM/METAGO/UnB, Goiânia, 184p., 2000.

LARSON, W.E., PIERCE, F.J. **Conservation and enhancement of soil quality, evaluation for sustainable land management in the developing world**. IBSRAM Proceedings, International Board for Soil Research and Management, v. 12(2), p. 175-203, 1991.

LEITE A.E.B. **Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA**. Dissertação (Mestrado). FIOCRUZ, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 86 p., 2004.

LIMA, Valéria. **Do Mapa ao Modelo: Representação da Qualidade Ambiental Urbana de Osvaldo Cruz/SP**. Geografia em Questão, v. 04(1), p. 112-125, 2011.

LINKOV, I.; LONEY, D.; CORMIER, S.; SATTERSTROM, F. K.; BRIDGES, T. **Weight-of-evidence evaluation in environmental assessment: review of qualitative and quantitative approaches**. Sci Total Environ, v. 407, p. 5199–205, 2009.

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. U.S. Agency for International Development, Recife, 75 p., 1965.

MACEDO J.A.B. **Águas & águas**. CRQ-MG, Belo Horizonte, 977p., 2004.

- MACHADO, L.M.C.P. **Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos.** In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B (Org). Indicadores ambientais. Ed. USP, Sorocaba, p.15-211, 1997.
- MAMEDE L. et al. **Geomorfologia, Levantamento de Recursos Naturais.** MME/SG/Projeto Radam Brasil, v. 25, Rio de Janeiro, p. 301-376, 1983.
- MARCUS, M.G.; DETWYLER, T.R. **Urbanization and environment.** Duxburg Press, Bermont, 286 p., 1972.
- MATTOS, S.H.V.L. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, 120 p., 2005.
- MERICO, L.F.K. **Introdução à Economia Ecológica.** Editora da FURB, Blumenau, 160p., 1996.
- MINAKI, C.; AMORIM, M. C. C. T. **Análise da qualidade ambiental urbana.** Mercator, Revista de Geografia da UFC, v. 11(24), p. 229-251, 2012.
- MITCHELL, D. W. **More on spreads and non-arithmetic means.** The Mathematical Gazette, v. 88, p. 142–144, 2004.
- MORATO, R.G. **Análise Espacial e Desigualdade Ambiental no Município de São Paulo.** Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, 141 p., 2008.
- MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal.** CPRM/SIC – FUNMINERAL, Goiânia, 143 p., 2008.
- MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA G. R.; PINELLI, M. P. **A Qualidade da Água como Indicador de Uso e Ocupação do Solo: Bacia do Gama, Distrito Federal.** Química Nova, v. 33(1), p. 97-103, 2010.
- MULHOLLAND D.S. **Geoquímica Aplicada à Avaliação da Qualidade de Sistemas Aquáticos da Bacia do Rio Paracatu (MG).** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, 95 p. 2009.

MULHOLLAND, D. S.; BOAVENTURA, G. R.; ARAÚJO, D. F. **Modelo Geoquímico aplicado à Avaliação da Qualidade da Água da Bacia do Alto Curso do Rio Paracatu**. J. Aquat. Sci. Technol., v. 14(2), p.39-46, 2010.

NICHOL, J.; WONG, M.S. **Modeling urban environmental quality in a tropical city**. Landscape and Urban Planning, v. 73, p. 49-58, 2005.

NUCCI, J. C. **Metodologia para Determinação da Qualidade Ambiental Urbana**. Revista do Departamento de Geografia da USP, v. 12, p. 209-224, 1998.

NUNES, F. G. **Modelagem Hidrológica e Técnicas de Geoprocessamento na Estimativa da Impermeabilização do Solo e Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia (GO)**. Ateliê Geográfico, n. 06, v. 02, p. 55-74, 2012.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental Performance Reviews: A Practical Introduction**. OECD, v.5(17), Paris, 60 p., 1997.

OMS. **Who Air Guidelines Global Update**. Reported in a Working Group Meeting, Scherfigsvej, DK-2100, Copenhagen, Denmark, 485 p., 2005.

ONU. **United Nations Open Working Group on Sustainable Development Goals**. United Nations Copyright.; 2016. [cited 2017 Jan 22]. Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/>.

PECHE, R.; RODRÍGUEZ, E. **Development of environmental quality indexes based on fuzzy logic. A case study**. University College of Engineering of Vitoria-Gasteiz, University of the Basque Country, Department of Chemical and Environmental Engineering, Ecological Indicators, v. 23, p. 555-565, 2012.

PEIXOTO, P. P. P. **Aspectos qualitativos das águas superficiais do córrego Curral de Arame**. CBCS, v. 29, Resumos, 2003.

PIMENTA S.M., LIMA C.V., RIBEIRO T.G. **Avaliação físico-química da qualidade da água, relação com uso do solo na bacia do ribeirão Santo Antônio**. Revista Processos Químicos, v. 3(5), p. 88-104, 2009.

PIMENTA, S. M. **Modelo de Avaliação da Qualidade da Água Utilizando Geoquímica e Bioindicadores**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, 132 p, 2016.

POSTEC, Postec Technology. **Relatório do teste de Medições Automáticas de Gases, Partículas e Condições Atmosféricas POD AQMesh**. Postec Tecnologia Ltda, São Paulo, 18 p., 2015.

POUDEL, D.D.; LEE, T.; SRINIVASAN, R.; ABBASPOUR, K.; JEONG, C.Y. **Assessment of seasonal and spatial variation of surface water quality, identification of factors associated with water quality variability, and the modeling of critical nonpoint source pollution areas in an agricultural watershed**. Journal Soil and Water Conservation Society, v. 68(3), p. 155-171, 2013.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R. dos; FORTES, L. T. G. (Orgs.). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Edição Revista e Ampliada. INMET, Brasília, 465 p., 2009.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. **Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14(3), p. 353-362, 2009.

RIBEIRO, T.G. **Avaliação da Qualidade Ambiental no Município de Aparecida de Goiânia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia, 101 p., 2013.

RIBEIRO, T.G.; BOAVENTURA, G.R.; CUNHA, L.S.; PIMENTA, S.M. **Estudo da Qualidade das Águas por meio da Correlação de Parâmetros Físico-Químicos, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns**. Geochimica Brasiliensis, v. 30 (1), p. 84-94, 2016.

RIBEIRO, T.G.; BOAVENTURA, G.R.; CUNHA, L.S.; PIMENTA, S.M. **Qualidade Ambiental: Reflexões Teóricas**. Revista Processos Químicos, SENAI - Departamento Regional de Goiás, v. 11(21), 2017, "in press".

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JÚNIOR, H. A. **Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais**. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 62(2), p. 155-165, 2009.

ROSSATO, M. V.; LIMA, J. E.; LIRIO, V. S. **Condições econômicas e nível de qualidade ambiental no estado do Rio Grande do Sul**. Rev. Econ. Sociol. Rural, v. 48(3), p. 587-604, 2010.

RUFINO, Rui César. **Avaliação da Qualidade Ambiental do Município de Tubarão (SC) Através do Uso de Indicadores Ambientais**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 113 p., 2002.

RUSSO, P. R. **A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera.** Revista de Ciências Humanas, v. 10(1), p. 78-93, 2010.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado - Fundamentos teóricos e metodológicos da geografia.** EDUSP, São Paulo, 136 p., 2007.

SARRANTONIO, M; DORAN, J.W.; LIEBIG, M.A.; HALVORSON, J.J. **On-farm assessment of soil quality and health.** In: Doran, J.W. and Jones, A.J. (eds). Methods for assessing soil quality. Soil Science of America, Madison, p. 83-105, 1996.

SCHINDELBECK, R.R., ES H.M.V., ABAWI, G.S., WOLFE, D.W., WHITLOW, T.L., GUGINO, B.K., OMOLOLU, I.J., MOEBIUS-CLUNE, B.N. **Comprehensive assessment of soil quality for landscape and urban management.** Landscape and Urban Planning, v. 88, p. 73-80, 2008.

SCOPE. **Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on the environment in the context of sustainable development.** In: GOUZEE, N. & BILHARZ, S. Indicators of sustainable development for decision-making. N. Federal Plannig Office. Bruselas, 1995.

SEIFOLLAHI, M.; FARYADI, Sh. **Evaluating the Quality of Tehran's Urban Environment Based on Sustainability Indicators.** Int. J. Environ. Res. V. 5(2), p. 545-554, 2011.

SEMENZIN, E.; CRITTO, A.; RUTGERS, M.; MARCOMINI, A. **Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment.** Sci Total Environ, v. 389, p. 71-86, 2008.

SINGER, M. J.; EWING, S. **Soil quality.** In: SUMMER, M. E. Handbook of soil science. CRC Press. Section G, New York, p. 271-298, 2000.

SMS, Secretaria Municipal de Saúde de Goiânia. **Informativo: com o período seco Secretaria Municipal de Saúde atenta para cuidados com a saúde.** SMS, Goiânia. 2017. [cited, 2017 Fev 22]. Available from: <http://www.saude.goiania.go.gov.br/html/noticia/15/07/Com-periodo-seco-SMS-atenta-cuidados-saude.shtml>

SOUZA, J. I. B. **Qualidade ambiental em cidades médias: estudo de caso da cidade de Campos dos Goytacazes.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 3(1), p. 117-134, 2009.

SUGIMOTO S., NAKAMURA F., ITO A. **Heat budget and statistical analysis of the relationship between stream temperature and riparian forest in the Toikanbetsu river basin, Northern Japan.** Journal of Forest Research, v. 2(2), p. 103-107, 1997.

SWIFT JR. L.M., MESSER J.B. **Forest cuttings raise temperatures of small streams in the southern Appalachians.** Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v. 26(23), p. 111-171, 1971.

TAKENO, N. **Atlas of Eh-pH diagrams, Intercomparison of thermodynamic databases.** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan, 287 p., 2005.

TEZA, C.T.V. **Proposta de modelagem de qualidade ambiental em áreas metropolitanas, por meio de dados de sensoriamento remoto.** Tese (doutorado). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, 110 p., 2016.

USDA, United State Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide.** NRCS/ Soil Quality Institute, Washington, 48 p., 2001.

VASILE, S.; RADITA, A.; MARIAC, K. C.; DANUT, T.; MIHAELA, S. **The Evaluation of the Environmental Quality in Romania.** Geographica Pannonica, v. 15(2), p. 42-50, 2011.

VRSCAJ, B., POGGIO, L., MARSAN, F. A. **A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas.** Elsevier, Landscape and Urban Planning, v. 88(2-4), p. 81-94, 2008.

WEINS, S.; SILVA, C. L. **Indicadores de Qualidade Ambiental: Uma Análise Comparativa.** In: I Seminário sobre Sustentabilidade da UNIFAE (Anais). São Paulo, 11 p., 2007.

YOUNG, A.F. **Análise Comparativa da Qualidade e Zoneamento Ambiental de Duas Microbacias Urbano – Rurais: Uma Contribuição Metodológica.** Dissertação (mestrado), Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2000.

ZHANG Z.; CHEN Y.; WAMG P.; SHUAI J.; TAO F.; SHI P. **River discharge, land use change, and surface water quality in the Xiangjiang River.** Hydrological Processes, v. 28(13), p.4130-4140, 2014.

ZHU, Jiulong. **Modeling and Analysis of Urban Environmental Quality Evaluation: A Case Study on Xiamen City.** Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI), International Conference on Kaifeng, China, p. 76-79, 2010.